

# **SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BAJA CASTELLA MENGGUNAKAN METODE  
LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) PADA STRUKTUR GABLE  
FRAME DI PEMBANGUNAN PASAR MODERN PELAIHARI, BANJARMASIN**



**Disusun oleh :**

**Verry Eka Anggriawan**

**NIM. 12.21.097**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2016**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BAJA CASTELLA MENGGUNAKAN METODE  
LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) PADA STRUKTUR GABLE  
FRAME DI PEMBANGUNAN PASAR MODERN PELAIHARI, BANJARMASIN**

*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil*

*Institut Teknologi Nasional Malang*

**Disusun Oleh :**

**Verry Eka Anggriawan**

**12.21.097**

**Disetujui Oleh :**

**Dosen Pembimbing 1**



**Ir. Bambang Wedyantadji, MT**

**Dosen Pembimbing 2**



**Mohammad Erfan, ST, MT**

Malang, Oktober 2016

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi Teknik Sipil S-1**

**Institut Teknologi Nasional Malang**



**Ir. A. Agus Santosa, MT**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2016**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**PERENCANAAN STRUKTUR BAJA CASTELLA MENGGUNAKAN METODE  
LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) PADA STRUKTUR GABLE  
FRAME DI PEMBANGUNAN PASAR MODERN PELAIHARI, BANJARMASIN**

*Dipertahankan Dihadapan Majelis Penguji Sidang Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)*

*Pada hari : Kamis*

*Tanggal : 11 Agustus 2016*

*Dan Diterima Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan*

*Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil S-1*

**Disusun Oleh :**

**Verry Eka Anggriawan**

**12.21.097**

**Disahkan Oleh :**

**Ketua**

**(Ir. A. Agus Santosa, MT)**

**Sekretaris**

**(Ir. Munasih, MT)**

**Anggota Penguji :**

**Dosen Penguji I**

**(Ir. A. Agus Santosa, MT)**

**Dosen Penguji II**

**(Ir. H. Sudirman Indra, MSc)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL S-1  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**2016**

## **PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Verry Eka Anggriawan  
NIM : 12.21.097  
Program Studi : Teknik Sipil S-1  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institusi : Institut Teknologi Nasional Malang

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya dengan judul :

**“PERENCANAAN STRUKTUR BAJA CASTELLA MENGGUNAKAN METODE LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) PADA STRUKTUR GABLE FRAME DI PEMBANGUNAN PASAR MODERN PELAIHARI, BANJARMASIN”.** adalah benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur hasil karya orang lain, kecuali disebut dari sumber aslinya dan tercantum dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil duplikasi atau mengambil karya tulis dan pemikiran orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, Oktober 2016



buat pernyataan

**Verry Eka Anggriawan**

NIM : 12. 21. 097

## ABSTRAKSI

VERRY EKA ANGGRIAWAN, 2016. “**PERENCANAAN STRUKTUR BAJA CASTELLA MENGGUNAKAN METODE LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD) PADA STRUKTUR GABLE FRAME DI PEMBANGUNAN PASAR MODERN PELAIHARI, BANJARMASIN**”.

Dosen Pembimbing I : Ir. Bambang Wedyantadji, MT, Dosen Pembimbing II : Mohammad Erfan, ST, MT

---

---

Seiring dengan kemajuan ilmu dalam bidang konstruksi, bentuk dan desain bangunan gedung semakin bervariasi dan beragam. Perencanaan gedung bertingkat tinggi terhadap beban gempa saat ini di Indonesia sudah sangat dipertimbangkan pengaruhnya mengingat banyak daerah rawan gempa di sebagian wilayah Indonesia. Sehingga dalam perencanaan gedung banyak digunakan Sistem Rangka Gedung, Sistem Ganda dan Sistem Rangka Pemikul Momen untuk mendapatkan bangunan yang tahan terhadap gempa.

SNI 03 – 1726 – 2012 dan SNI 03 – 2847 – 2013 merupakan peraturan yang digunakan untuk perencanaan gedung Hotel Grand Malebu Makassar. Komponen struktur yang direncanakan meliputi : balok, kolom dan hubungan balok – kolom. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah peraturan pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) 1987, analisa gempa rencana digunakan staktik ekivalen dengan analisa statikanya digunakan program bantu computer ETABS 2015. Gedung Grand Malebu Makassar memiliki panjang 25 m, lebar 18 m dan tinggi 33,5 m. dalam perencanaan digunakan mutu beton  $f_c' = 30$  MPa dan mutu baja tulangan  $f_y = 400$  MPa.

Dari hasil perhitungan dan perencanaan gedung Grand Malebu direncanakan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus ( SRPMK ) dengan nilai  $R = 8$  ;  $\Omega = 3$  ; dan  $C_d = 5,5$ . Pada Balok B126 dengan dimensi 35/60 pada lantai 1 digunakan untuk daerah tumpuan kiri dan kanan berjumlah 7 D22 untuk tulangan tarik dan 4 D22 untuk tulangan tekan, sedangkan untuk daerah lapangan digunakan 3 D22 untuk tulangan tekan dan 5 D22 untuk tulangan tarik. Untuk tulangan geser daerah sendi plastis dipasang 2 kaki  $\emptyset 10 - 95$  mm dan luar sendi plastis dipasang 3 kaki  $\emptyset 10 - 160$  mm. Pada kolom C30 lantai 1 dengan dimensi 60/60 digunakan jumlah tulangan 16 D25 dipasang tulangan geser daerah sendi plastis 4 kaki  $\emptyset 12 - 100$  mm, daerah sambungan lewatan 4 kaki  $\emptyset 12 - 90$  mm, dan daerah luar sendi plastis dipasang 4 kaki  $\emptyset 12 - 150$  mm. Pada hubungan balok kolom dipasang pengeang 4 kaki 6  $\emptyset 12$ .

**Kata Kunci** : SRPMK, Analisa Statik Ekivalen, Perancangan Balok dan Kolom

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dijaman yang semakin berkembang ini kemajuan struktur modern dalam perkembangan kontruksi juga ikut mengalami perkembangan. Hal ini yang membuat para perencana khususnya dalam bidang konstruksi baja berlomba-lomba untuk memberikan inovasi hingga memodifikasi dari bentuk asli yang bertujuan untuk mendapatkan kekuatan yang lebih besar serta ringan dan memiliki nilai yang ekonomis. Perkembangan ini juga tidak lepas dari kemajuan ilmu pengetahuan yang juga menghasilkan teori ataupun metode yang baru sehingga terciptanya sebuah inovasi perencanaan yang lebih maju. Pada saat ini pembangunan sebuah konstruksi tidak luput dari material baja.

Seperti pada pembangunan pasar modern di pelaihari, Kalimantan selatan. Dalam pembangunan pasar ini menggunakan konstruksi yang terbuat dari material baja dengan model *gable frame*. Kontruksi *gable frame* memang lumayan sering digunakan untuk jenis bangunan seperti gudang, pasar, lapangan futsal dan lain sebagainya. Kontruksi seperti ini termasuk simple dalam pengerjaannya berbeda dengan model kontruksi baja pada lainnya. Dalam pembangunan struktur gedung ataupun jembatan biasanya selalu menggunakan jenis baja profil. Baja profil itu sendiri adalah baja yang dibentuk khusus di fabrikasi yang digunakan untuk pekerjaan struktur baja. Bentuk-bentuk baja yang sering digunakan di lapangan untuk pekerjaan struktur baja antara lain baja dalam bentuk balok

I, kanal C, Profil WF, H, baja siku-siku, baja castella, dan lain-lain. Profil Baja Castella adalah salah satu profil baja structural kedua yang paling populer setelah profil Baja WF yang digunakan untuk konstruksi baja.

Untuk perencanaan sendiri menggunakan metode yang biasa digunakan, yaitu metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*) perencanaan factor daya tahan dan beban atau yang biasa dikenal dengan perencanaan keadaan batas (*limit state*). Metode ini adalah hasil penelitian dari *advisory task force* yang dipimpin oleh T. V. Galambos, pada perhitungan ini kekuatan nominal  $M$ , penampang struktur yang dikaitkan oleh factor pengurangan kapasitas (*under capacity*)  $\phi$ , yaitu bilangan yang lebih kecil dari 1,0 untuk memperhitungkan ketidakpastian besarnya daya tahan (*resistance uncertainties*). Selain itu diperhitungkan juga factor gaya dalam ultimit  $M$ , dengan kelebihan beban (*overload*)  $\gamma$  (bilangan yang lebih besar dari 1,0) untuk menghitung ketidakpastian dalam analisa struktur dalam menahan beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa.

Berdasarkan metode diatas, maka penulis mencoba merencanakan struktur Baja Castella menggunakan metode LRFD pada struktur *Gable Frame* di pembangunan pasar modern Pelaihari Banjarmasin.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang maka perlu dibuat suatu perumusan masalah. Adapun perumusan masalah yang penulis kemukakan adalah sebagai berikut :

1. Berapa dimensi balok castella dan kolom Baja WF yang diperlukan dari metode LRFD (*Load and Resistance Factor Design*)?
2. Berapa jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan rafter puncak dari analisis menggunakan metode LRFD ?
3. Berapa jumlah baut angkur yang di butuhkan untuk sambungan Base Plate ?

## **1.3 Maksud dan Tujuan**

Adapun maksud dan tujuan penulis dari perencanaan gable frame menggunakan LRFD adalah :

1. Mengetahui dimensi kuda-kuda dan kolom dengan metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*).
2. Mengetahui jumlah baut yang dibutuhkan untuk sambungan gable frame tersebut.
3. Mengetahui jumlah baut yang dibutuhkan untuk sambungan base plate.

## **1.4 Lingkup Pembahasan**

Untuk memperjelas analisis ini agar lebih fokus mengarah kepada pembahasannya, maka perlu adanya batasan-batasan masalah antara lain:



1. Menghitung dimensi kuda-kuda dan kolom pada struktur *Gable Frame* menggunakan metode LRFD.
2. Menghitung dan mendesain sambungan struktur *Gable Frame* menggunakan metode LRFD.
3. Menghitung dan mendesain base plate dengan metode LRFD.

Sedangkan untuk peraturan yang di pakai sebagai acuan dalam perencanaan struktur gable frame adalah:

1. Peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung, 1983
2. Tata Cara Perhitungan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung, (SNI 03 – 1729 – 2015).
3. AISC, *Manual of Steel Construction*, Thirteenth Edition, 2005, American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago.
4. AISD, LRFD, *Manual of Steel Construction*, second Edition, 1994, (volume I : *Structural Member, Spesification, And Codes* ; volume II : *Connections*) American Institute of Steel Construction, Inc., Chicago
5. *Peraturan perencanaan bangunan baja Indonesia* (PPBBI), 1984.
6. *Menggunakan program STAAD Pro*.

## **1.5 Manfaat Analisis**

Studi analisa ini dilakukan dengan harapan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan suatu hasil perencanaan dari metode LRFD untuk merencanakan struktur gable frame yang menggunakan profil baja castella pada sebuah pasar modern pelaihari.
2. Memberikan suatu informasi dan perencanaan dari metode LRFD bahwa metode tersebut lebih optimal untuk diterapkan pada pembangunan pasar pelaihari.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Material Baja

##### 2.1.1 Sifat Mekanis Baja

Berikut merupakan sifat – sifat mekanis baja sktruktural :

- Modulus Elastisitas, E = 200.000 MPa
- Modulus Geser, G = 79.300 MPa
- Angka Poisson ( $\mu$ ) = 0,26
- Density = 7,85 g/cc

*Catatan* : 1 Mpa = 10 kg/cm<sup>2</sup>

*Sumber* : ASTM A36

Sedangkan berdasarkan tegangan leleh dan regangan putusnya, mutu material baja dibagi menjadi 5 kelas mutu sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Jenis Baja

Jenis Baja	Tegangan Putus Minimum $f_u$ (MPa)	Tegangan Leleh Minimum $f_y$ (MPa)	Regangan Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18

BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI 03-1729-2002

## 2.2 Beban – Beban yang bekerja pada konstruksi

Beban adalah gaya yang bekerja pada suatu struktur, penentuan secara pasti besarnya beban yang bekerja pada suatu struktur selama umur layannya merupakan salah satu pekerjaan yang sangat sulit. Dan pada umumnya penentuan besarnya beban yang merupakan suatu estimasi. Meskipun beban yang bekerja pada suatu lokasi dari struktur dapat diketahui secara pasti, namun distribusi beban yang bekerja pada suatu lokasi dari elemen ke elemen, dalam suatu struktur umumnya memerlukan suatu asumsi dan pendekatan. Jika beban – beban yang bekerja pada suatu struktur telah diestimasi, maka masalah berikutnya adalah menentukan kombinasi – kombinasi beban yang paling dominan yang mungkin bekerja pada struktur tersebut. Besar beban – beban yang bekerja pada suatu struktur diatur oleh peraturan pembebanan yang berlaku.

Beban-beban pada struktur bangunan bertingkat, menurut arah bekerjanya dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Beban Vertikal (*Gravitasi*).
  - Beban Mati (*Dead Load*).
  - Beban Hidup (*Live Load*).
  - Beban Air Hujan.
2. Horizontal (*Lateral*).
  - Beban Gempa (*Earthquake*).



- Beban Angin (*Wind Load*).
- Tekanan Tanah dan Air Tanah.

Pada perencanaan konstruksi bangunan ini, beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati, beban hidup, beban air hujan pada atap, beban angin pada atap, dan beban gempa.

### **2.2.1 Beban Mati**

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. (*SNI 1727:2013, Pasal 3*)

### **2.2.2 Beban Hidup**

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. (*SNI 1727:2013, Pasal 4*)

### **2.2.3 Beban Hidup Atap**

Beban pada atap yang diakibatkan (1) pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan, dan material dan (2) selama masa layan struktur yang

diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian. (SNI 1727:2013, Pasal 4)

#### **2.2.4 Beban Angin**

Beban angin adalah beban yang bekerja pada bangunan atau bagiannya karena adanya selisih tekanan udara (hembusan angin kencang). Beban angin ini ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (isapan angin), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang bangunan yang ditinjau.

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 1727:2013, dalam menentukan tekanan angin tipe SPBAU (Sistem Penahan Beban angin utama) adalah dengan melalui beberapa langkah, yaitu :

1. Menentukan kategori risiko bangunan gedung atau struktur lain.
2. Menentukan kecepatan angin dasar,  $V$  (m/s), untuk kategori resiko yang sesuai.
3. Menentukan parameter beban angin :
  - Faktor arah angin,  $K_d$
  - Kategori eksposur
  - Faktor topografi,  $K_{zt}$
  - Faktor efek tiupan angin,  $G$
  - Klasifikasi tertutupan
  - Koefisien tekanan internal,  $G_{cpi}$
4. Menentukan koefisien eksposur tekanan velositas,  $K_z$  atau  $K_h$

5. Menentukan tekanan velositas  $q$ , atau  $q_h$  ( $N/m^2$ )
6. Menentukan koefisien tekanan eksternal,  $C_p$  atau  $C_N$
7. Hitung tekanan angin,  $p$  ( $N/m^2$ ), pada setiap permukaan bangunan gedung

### 2.2.5 Beban Air Hujan

Setiap bagian dari suatu atap harus dirancang mampu menahan beban dari semua air hujan yang terkumpul apabila sistem drainase primer untuk bagian tersebut tertutup ditambah beban merata yang disebabkan oleh kenaikan air di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran rencananya.

$$R = 0,0098(ds+dh) \quad (kg/m^2) \quad (2.1)$$

Dimana :  $R$  = Beban air hujan pada atap yang tidak melendut, dalam ( $kN/m^2$ ).

$ds$  = Kedalaman air pada atap yang tidak melendut meningkat ke lubang masuk sistem drainase sekunder apabila sistem drainase primer tertutup (tinggi statis), dalam (mm).

$dh$  = Tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut di atas lubang masuk sistem drainase sekunder pada aliran air rencana (tinggi hidrolik), dalam (mm).

## 2.3 Teori Desain Kekuatan Berdasarkan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) Struktur Baja

Desain yang sesuai dengan ketentuan untuk desain faktor beban dan ketahanan (DFBK) memenuhi persyaratan spesifikasi ini bila kekuatan desain setiap komponen struktural sama atau melebihi kekuatan perlu yang ditentukan berdasarkan kombinasi beban DFBK.

Desain harus dilakukan sesuai dengan persamaan :

$$R_u \geq \phi R_n \quad (2.2)$$

Dimana :

$\phi$  = Faktor Ketahanan

$R_n$  = Kekuatan Nominal

$\phi R_n$  = Kekuatan desain

$R_u$  = Kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

Kekuatan harus dibuat sesuai dengan ketentuan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Kekuatan perlu komponen struktur dan sambungan harus ditentukan melalui analisis struktur untuk kombinasi beban yang sesuai. Desain harus berdasarkan pada prinsip bahwa kekuatan atau keadaan batas kemampuan layan tidak dilampaui saat struktur menahan semua kombinasi beban yang sesuai. (SNI 1729:2015, Pasal B3)

### 2.3.1 Faktor Reduksi

Faktor reduksi dalam perencanaan struktur berdasarkan metode DFBK ditentukan dalam SNI 1729:2015, sebagai berikut :

- |   |               |
|---|---------------|
| a) Komponen struktur memikul lentur                 | $\phi = 0,90$ |
| b) Komponen struktur yang memikul gaya tekan aksial | $\phi = 0,90$ |
| c) Komponen struktur yang memikul gaya tarik        |               |
| 1. Terhadap kuat tarik leleh                        | $\phi = 0,90$ |
| 2. Terhadap kuat tarik fraktur                      | $\phi = 0,75$ |



- d) Komponen struktur yang memikul gaya aksial dan lentur  $\phi = 0,90$
- e) Komponen struktur komposit
1. Kuat tekan  $\phi = 0,75$
  2. Kuat tumpu beton  $\phi = 0,60$
  3. Kuat lentur dengan distribusi tegangan plastik  $\phi = 0,85$
  4. Kuat lentur dengan distribusi tegangan elastik  $\phi = 0,90$
- f) Sambungan baut  $\phi = 0,75$
- g) Sambungan las
1. Las tumpul penetrasi penuh  $\phi = 0,90$
  2. Las sudut, las tumpul penetrasi sebagian, las pengisi  $\phi = 0,75$

### 2.3.2 Kombinasi Dasar DFBK

Struktur, Komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi.

Menurut SNI 1727:2013 kombinasi beban yang harus diperhitungkan adalah :

- $1,4 D$
- $1,2 D + 1,6 L + 0,5 ( Lr \text{ atau } R )$
- $1,2 D + 1,6 ( Lr \text{ atau } R ) + ( L \text{ atau } 0,5 W )$
- $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 ( Lr \text{ atau } R )$
- $1,2 D \pm 1,0 E + L$
- $0,9 D + 1,0 W$
- $0,9 D \pm 1,0 E$

Dimana :

D = Beban Mati (beban gaya berat dari elemen-elemen struktural)

L = Beban Hidup (beban yang dapat bergerak )

$L_r$  = Beban Hidup Atap

W = Beban angin

R = Beban hujan

E = Beban gempa

## 2.4 Batang lentur

Komponen struktur lentur memikul beban – beban gravitasi, seperti beban mati dan beban hidup. Komponen struktur ini merupakan kombinasi dari elemen tekan dan elemen tarik, sehingga konsep dari komponen struktur tarik dan tekan akan dikombinasikan. Komponen ini diasumsikan sebagai komponen tak tertekuk, karena bagian elemen mengalami tekan, sepenuhnya terkekang baik dalam arah sumbu kuat, maupun sumbu lemahnya. *Sumber : Agus Setiawan, Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD, Erlangga, 2008*

Distribusi tegangan pada profil WF akibat momen lentur diperlihatkan dalam gambar 2.1. Pada daerah beban layan, penampang masih elastis (gambar 2.1 a), kondisi elastis berlangsung hingga tegangan pada serat terluar mencapai kuat lelehnya ( $f_y$ ). Setelah mencapai regangan leleh ( $\epsilon_y$ ), regangan leleh akan terus naik tanpa diikuti kenaikan tegangan. Ketika kuat leleh tercapai pada serat terluar (gambar 2.1 b), tahanan momen nominal sama dengan momen leleh  $M_{yx}$ , dan besarnya adalah :

$$M_n = M_{yx} = Z_x \cdot f_y \quad (2.3)$$

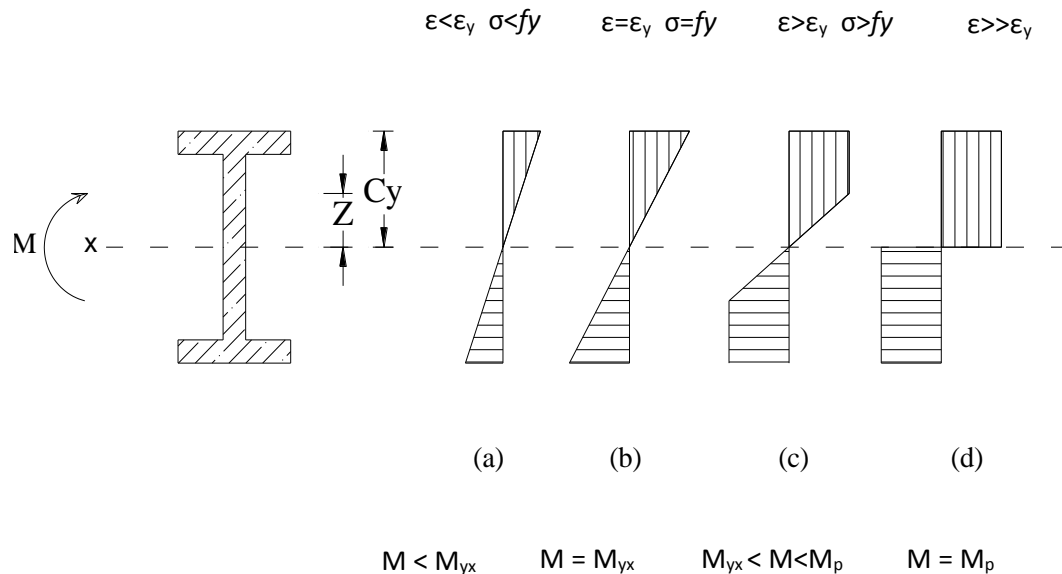
Dimana :

$Z_x$  : Modulus penampang arah x

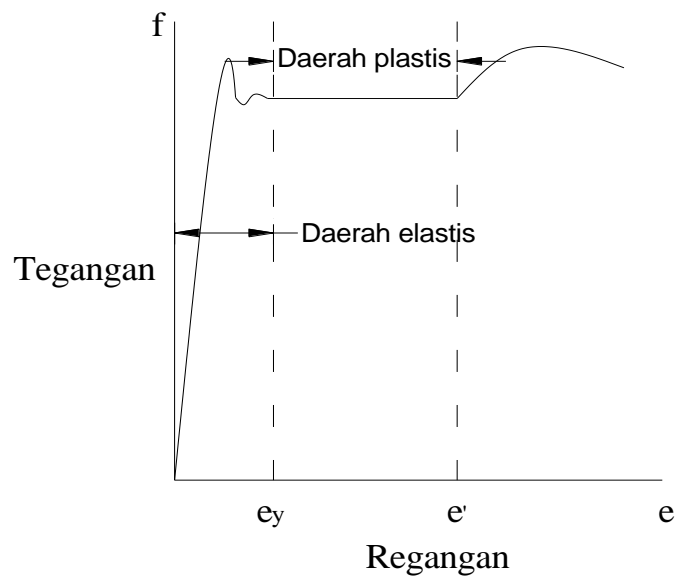
Dan pada saat kondisi pada gambar 2.1 d tercapai, semua serat dalam penampang melampaui regangan lelehnya, dan dinamakan kondisi *plastis*. Tahanan momen nominal dalam kondisi ini dinamakan momen plastis ( $M_p$ ), yang besarnya adalah :

$$M_p = f_y \cdot Z \quad (2.4)$$

Dengan Z dikenal sebagai modulus plastis.



**Gambar 2.1** Distribusi tegangan pada level beban berbeda



**Gambar 2.2** Diagram tegangan – regangan material baja

Struktur batang lentur dikatakan aman apabila :

- Kontrol kekuatan lentur

$$M_u \leq \phi \cdot M_n \quad (2.5)$$

Dimana :

$\phi$  : Faktor reduksi untuk lentur (0,9)

$M_n$  : Momen lentur nominal (Nmm)

$M_u$  : Momen lentur akibat beban terfaktor (Nmm)

- Kontrol Lendutan Akibat Momen

$$\frac{1}{240} L > \frac{5 \cdot M \cdot L^2}{48 \cdot EI} \quad (2.6)$$

Dimana :

$L$  : Panjang gelagar (m)

$M$  : Momen Maksimal (Nmm)



E : Modulus elastisitas baja (N/mm<sup>2</sup>)

I : Momen inersia profil (mm<sup>4</sup>)

- Kontrol Lendutan Akibat Beban Merata

$$\frac{1}{240} L > \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot EI} \quad (2.7)$$

Dimana :

L : Panjang gelagar (m)

q : Beban merata (N/mm)

E : Modulus elastisitas baja (N/mm<sup>2</sup>)

I : Momen inersia profil (mm<sup>4</sup>)

- Kontrol Lendutan Akibat Beban Terpusat

$$\frac{1}{240} L > \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot EI} \quad (2.8)$$

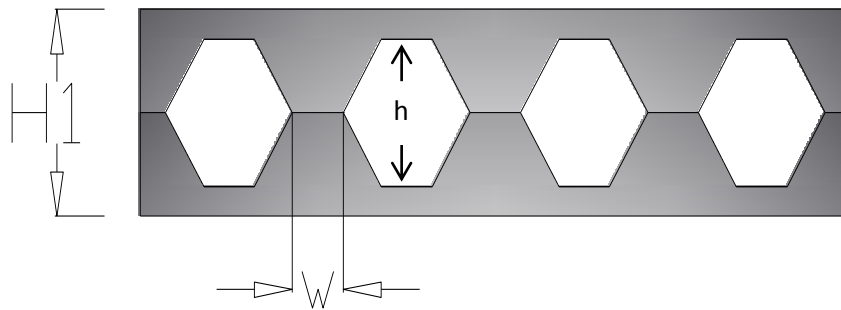
Dimana :

- L : Panjang gelagar (m)
- P : Beban terpusat (N)
- E : Modulus elastisitas baja ( $\text{N/mm}^2$ )
- I : Momen inersia profil ( $\text{mm}^4$ )

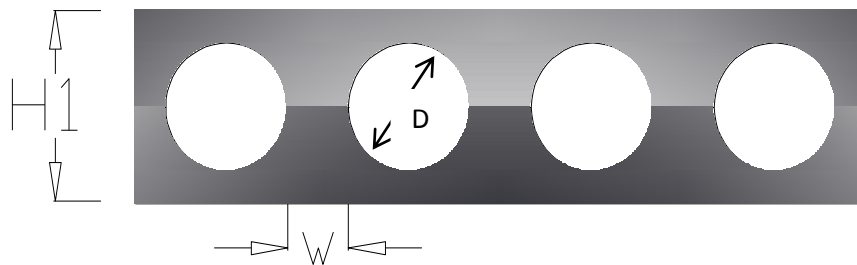
## 2.5 Profil Baja *Castella*

Saat ini banyak sekali berbagai penelitian yang dilakukan oleh para ahli untuk menemukan berbagai solusi – solusi baru dalam mengurangi biaya pembangunan konstruksi baja. Karena adanya batasan – batasan terhadap defleksi maksimum yang diijinkan, sehingga kekuatan dari struktur baja tidak dapat keuntungan yang terbaik. Oleh karna itu, beberapa metode baru ditemukan untuk meningkatkan kekuatan komponen struktur baja tanpa meningkatkan berat baja itu sendiri. Salah satu dari sekian solusinya adalah penggunaan *Castellated Beam*. (Sevak Demirdjian, 1999)

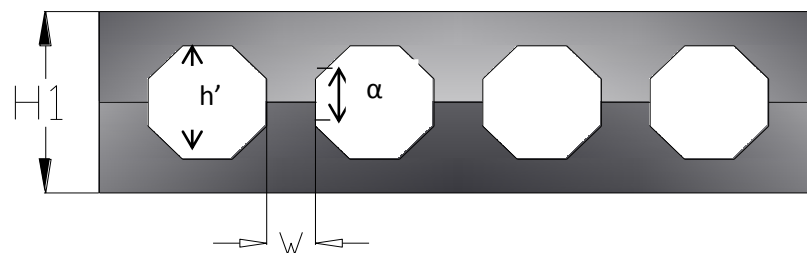
Profil baja *Castellated Beam* ialah profil baja I, H, atau U yang kemudian pada bagian badannya potongan memanjang dengan pola zig – zag. Kemudian bentuk dasar profil baja diubah dengan menggeser atau membalik setengah bagian profil baja dengan cara dilas pada bagian “gigi – giginya”. Sehingga terbentuk profil baja baru dengan lubang berbentuk segi enam ( hexagonal ), segi delapan ( Octagonal ) dan lingkaran ( Circular ). (Johann Grunbauer, 2001)



**Gambar 2.3** Hexagonal *Castellated beam*



**Gambar 2.4** Circular *Castellated beam*



**Gambar 2.5** Octagonal *Castellated beam*

### 2.6.1 Geometri *Penampang Castella Beam*

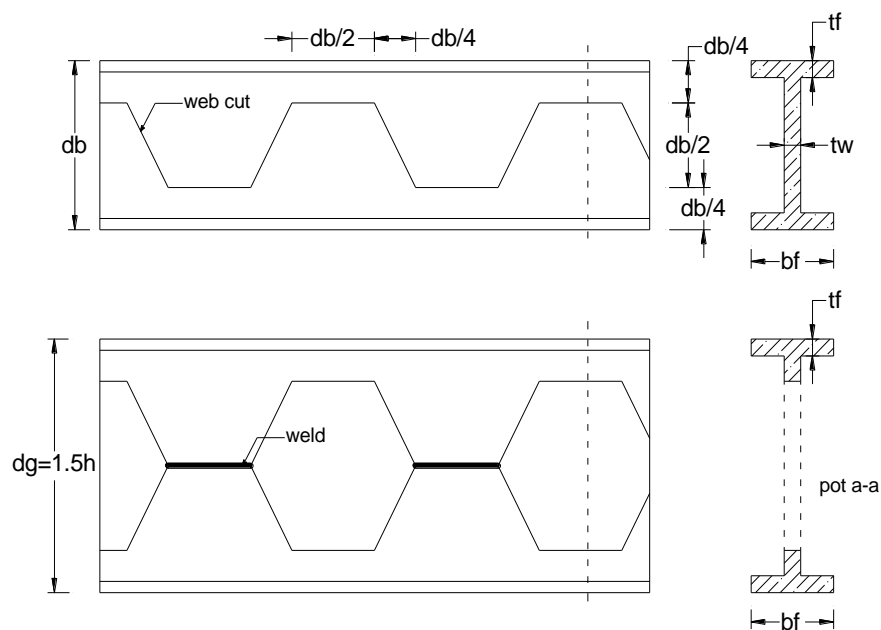
Geometri penampang castella beam dibagi menjadi tiga parameter, yaitu: (*L. Amayreh dan M. P. Saka, 2005*)

### 1. Sudut Pemotongan ( $\theta$ )

Sudut Pemotongan ( $\theta$ ) mempengaruhi jumlah *castellation* (N per unit panjang). Riset membuktikan bahwa dengan adanya penambahan N tidak berpengaruh banyak terhadap kekakuan elastis *Castellated Beam*, akan tetapi perlu meningkatkan daktilitas serta kapasitas rotasi. Sudut pemotongan berkisar antara  $45^\circ$ - $70^\circ$ .

### 2. Ekspansion Ratio ( $\alpha$ )

Ekspansion ratio ( $\alpha$ ) adalah ratio penambahan tinggi yang dicapai *castellation* secara teoritis tinggi asli balok bertambah 50% dari tinggi semula, namun secara keseluruhan ketinggian pada bagian T (*tee section*) terdapat faktor pembatas.



**Gambar 2.6** Tinggi Setelah Pemotongan Baja

### 3. Welding Lenght ( $e$ )

Bila panjang bidang disambung (las) terlalu pendek. Maka akan terjadi kegagalan gaya geser horizontal pada badan profil, begitu juga sebaliknya apabila panjang bidang yang disambung (las) terlalu panjang, berdampak pada pertambahan panjang bagian T (*tee section*) dimana akan terjadi kegagalan lentur *Vierendeel*. Jadi, panjang yang diijinkan untuk dua tipe kegagalan tersebut. (*Sevak Demirdjian, 1999*)

### 2.6.2 Desain penampang Balok *Castellated Beam*

Desain *Castellated Beam* berdasarkan *Design of Welded Structure*, mengenai *Open web expanded beams and girders*.

- A. Menentukan modulus plastisitas tampang yang diperlukan balok *Castella*( $Z_g$ ) untuk momen lentur maksimum.

$$S_g = \frac{M_u}{\phi \cdot f_y} \quad (2.9)$$

Dimana :

$S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok ( $\text{cm}^3$ )

$M_u$  : Momen ultimate (kgcm)

$\phi$  : Faktor reduksi (0,90 : untuk lentur)

$f_y$  : Tegangan leleh profil ( $\text{kg/cm}^2$ )

- B.** Menentukan perbandingan tinggi balok castella dengan tinggi balok aslinya.  
Diamsumsikan kenaikan tinggi balok mencapai 1,5 kali dari tinggi balok aslinya.

$$K_1 = \frac{d_g}{d_b} \quad (2.10)$$

$$1,5 = \frac{d_g}{d_b} = \frac{S_g}{S_b} \quad (2.11)$$

$$S_b = \frac{S_g}{1,5} \quad (2.12)$$

Dimana :

$K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

$d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)

$d_b$  : Tinggi balok (balok asli) sebelum peninggian (mm)

$S_g$  : Modulus plastisitas penampang balok setelah peninggian (mm<sup>3</sup>)

$S_b$  : Modulus plastisitas penampang balok sebelum peninggian (mm<sup>3</sup>)

Menentukan nilai perbandingan tinggi ( $K_1$ ) yang sebenarnya

$$K_1 = \frac{S_g}{S_b} \quad (2.13)$$

- C.** Menentukan tinggi pemotongan zig – zag (h) :

$$h = d_b \cdot (K_1 - 1) \quad (2.14)$$

Dimana :

$h$  : Pertambahan tinggi akibat pemotongan zig – zag (mm)

$K_1$  : Perbandingan tinggi balok setelah peninggian dan sebelum peninggian.

**D.** Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan :

(*Design of welded structure, hal 4.7 – 15*)

$$d_T = \frac{V_u}{2.t_w.0.4.f_y} \quad (2.15)$$

Dimana :

$d_T$  : Tinggi penampang T perlu (mm)

$V_u$  : Gaya geser terfaktor (kg)

$t_w$  : Tebal badan balok (mm)

$f_y$  : Tegangan leleh profil (kg/cm<sup>2</sup>)

**E.** Menentukan tinggi balok castella :

$$d_g = d_b + h \quad (2.16)$$

Dimana :

$d_g$  : Tinggi balok (*castella*) setelah peninggian (mm)

**F. Menentukan tinggi dan tangkai penampang T**

$$d_T = \frac{d_g}{2} - h \quad (2.17)$$

Dimana :

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

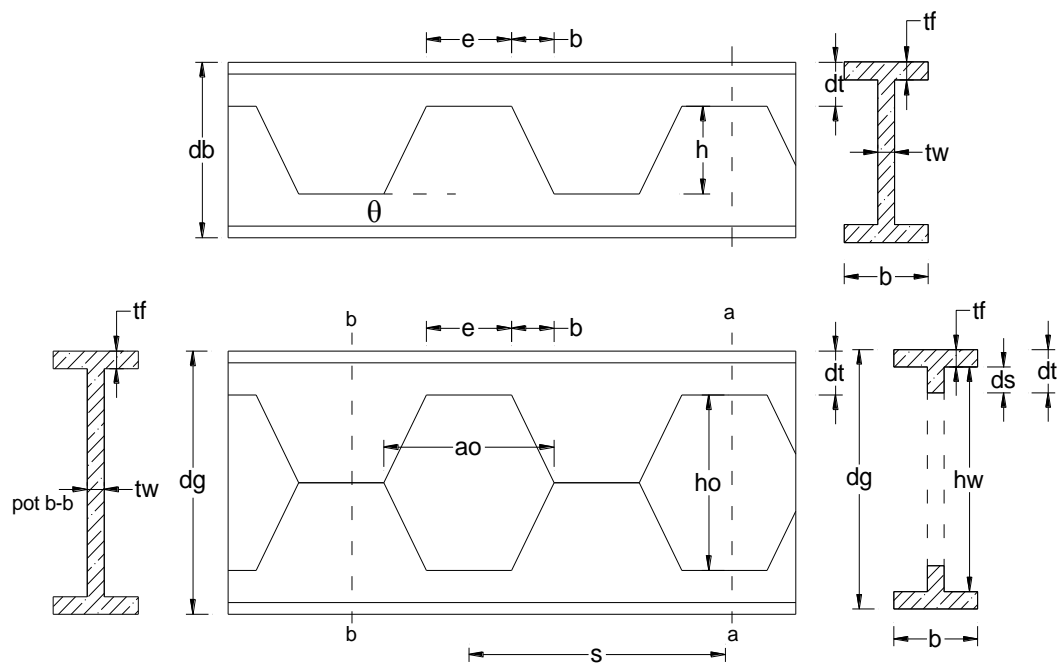
$$d_s = d_T - t_f \quad (2.18)$$

Dimana :

$d_s$  : Tinggi tangkai penampang T (mm)

$d_T$  : Tinggi penampang T (mm)

$t_f$  : Tebal flens penampang (mm)





Pot B-B

Pot A-A

**Gambar 2.7.** Dimensi geometri penampang *Castellated Beam*

**G.** Menentukan tegangan lentur ijin plat badan balok *castella* :

$$\bar{\sigma} = \left(1 - \frac{10,434}{Cc^2} \cdot \left(\frac{h}{tw}\right)^2\right) \cdot 0,6 \cdot f_y \quad (2.19)$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{f_y}} \quad (2.20)$$

Dimana :

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$f_y$  : Tegangan leleh profil (N/mm<sup>2</sup>)

**H.** Menentukan tegangan geser balok *castella* :

$$\sigma_v = \frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot \theta}{180}\right)^2}{3 \cdot \tan \theta} \cdot \bar{\sigma} \leq 0,4 \cdot f_y \quad (2.21)$$

Dimana :

$\sigma_v$  : Tegangan geser ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$\theta$  : Sudut dalam

$\bar{\sigma}$  : Tegangan lentur ijin balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

**I.** Menentukan tegangan geser maksimum balok *castella* :

$$\sigma_{\max} = 1,16. \frac{95\%V}{t_w.d_g} \quad (2.22)$$

Dimana :

$\sigma_{\max}$  : Tegangan geser maksimum balok *castella* (N/mm<sup>2</sup>)

$V$  : Gaya geser yang terjadi (N)

**J.** Rasio tegangan geser maksimum untuk balok berbadan utuh dan tegangan geser ijin untuk balok berlubang ( $K_2$ ) :

$$\frac{s}{s} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_v} = K_2 \quad (2.23)$$

**K.** Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel :

$$e \geq \frac{2.h.\tan\theta}{\frac{1}{K_2}-2} \quad (2.24)$$

$$s = 2. (e + h. \tan\theta) \quad (2.25)$$

Dimana :

$e$  : Panjang bidang horizontal (mm)

$s$  : Jarak antar panel (mm)

L. Menentukan ukuran dimensi balok *castella* :

Luas penampang T balok *castella* :

$$A_T \geq A_f + A_s \quad (2.26)$$

Modulus kelembaman penampang T balok *castella* :

$$S_T = A_f \cdot \left( d_s + \frac{t_f}{2} \right) + A_s \cdot \frac{d_s}{2} \quad (2.27)$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$I_T = A_f \cdot \left( d_s^2 + d_s \cdot t_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \cdot \frac{d_s^2}{3} \quad (2.28)$$

Jarak garis berat penampang T pada ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{S_T}{A_T} \quad (2.29)$$

Momen inersia tangkai penampang T:

$$I_t = I_T - C_s \cdot S_T \quad (2.30)$$

Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} \quad (2.31)$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$d = 2 \cdot (h + C_s) \quad (2.32)$$

Momen inersia balok *castella*:

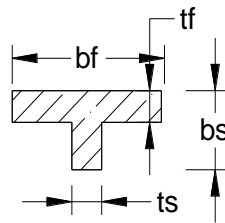
$$I_g = 2 \cdot I_t + \frac{A_T \cdot d^2}{2} \quad (2.33)$$

Modulus tahanan balok *castella*:

$$S_g = \frac{2 \cdot I_g}{d_g} \quad (2.34)$$

**M.** Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan aksial :

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} \quad \frac{b_s}{t_s} \leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}} \quad (2.35)$$



**Gambar 2.8.** Penampang *T*

**N.** Menentukan profil, kontrol kriteria dan kapasitas penampang :

Batas – batas kelangsingan adalah :

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} < \lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.36)$$

$$\lambda_w = \frac{d_g}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (2.37)$$

Dimana :

$E$  : Modulus elastisitas baja ( $\text{N/mm}^2$ )

- $t_f$  : Tebal *flens* penampang (mm)
- $b_f$  : Lebar *flens* penampang (mm)
- $t_w$  : Tebal *web* (badan) penampang (mm)
- $d_g$  : Tinggi bersih *web* (badan) penampang *Castella* (mm)
- $\lambda_f$  : Rasio kelangsingan *flens* (sayap)
- $\lambda_{pf}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *flens* untuk elemen kompak
- $\lambda_w$  : Rasio kelangsingan *web* (badan)
- $\lambda_{pw}$  : Rasio kelangsingan maksimum pada *web* untuk elemen kompak

## 2.7 Perencanaan Sambungan

Sambungan dalam suatu struktur merupakan bagian yang tidak mungkin diabaikan begitu saja, karena kegagalan pada sambungan dapat mengakibatkan kegagalan struktur secara keseluruhan.

Syarat – syarat sambungan :

- Harus kuat, aman tetapi cukup ekonomis.
- Mudah dalam pelaksanaan pemasangan dilapangan.
- Persyaratan keamanan yang diberikan DFBK untuk penyambung persamaannya menjadi :

$$Ru \leq \phi Rn \quad (2.42)$$

Dimana :

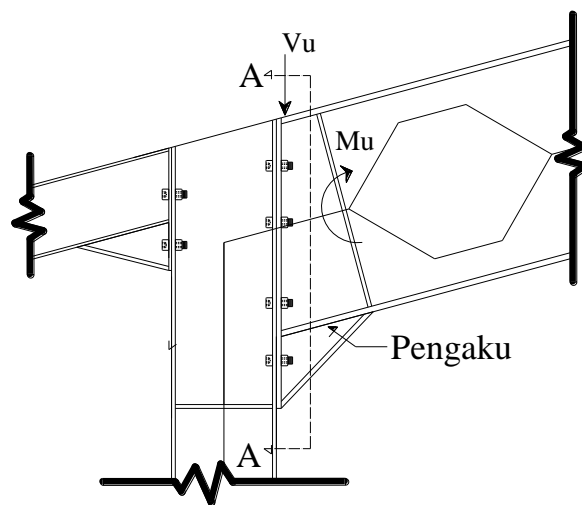
$\phi$  = Faktor reduksi (untuk konektor harga itu dengan tipe kejadian, seperti  
 0,75 untuk retakan tarik. 0,65 untuk geser pada baut berkekuatan tinggi  
 dan 0,75 untuk tumpuan baut pada sisi lubang).

$R_n$  = Kuat nominal baut

$R_u$  = Beban terfaktor

### 2.7.1 Sambungan RafterTengah

#### Sambungan Momen Plat Ujung (*End-plate moment connection*)



#### Perencanaan sambungan Baut

Kontrol jarak antar baut :

a. Jarak baut ke tepi (S1)

Diameter baut (in.)	Jarak tepi minimum
---------------------	--------------------

$\frac{1}{2}$	03-Apr
05-Agu	07-Agu
$\frac{3}{4}$	1
07-Agu	1 $\frac{1}{8}$
1	1 $\frac{1}{4}$
1 $\frac{1}{8}$	1 $\frac{1}{2}$
1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{5}{8}$
Di atas 1 $\frac{1}{4}$	1 $\frac{1}{4} \times d$

**Tabel 2.2** Jarak Tepi Minimum

b. Jarak antar baut (S2)

Jarak antara pusat – pusat standar, ukuran berlebih, atau lubang – lubang slot tidak boleh kurang dari 2  $\frac{2}{3}$  kali diameter nominal, d, dari pengencang, jarak 3d yang lebih umum.

*Sumber* : SNI 1729:2015, hal 128

➤ **Interaksi Geser dan Tarik pada Baut**

**Kuat nominal terhadap tarik dan geser :**

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot A_b \quad (2.43)$$

Dimana :

$R_n$  : Kuat tarik nominal

$\phi$  : Faktor reduksi tarik (0,75)

$f_n$  : Tegangan tarik nominal,  $f_{nt}$  , atau tegangan geser,  $f_{nv}$  (MPa)

$A_b$  : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir ( $\text{mm}^2$ )

**Tabel 2.3** Kekuatan nominal pengencang dan bagian yang berulir

Deskripsi pengencang	Kekuatan tarik nominal, $f_{nt}$ (MPa)	Kekuatan geser nominal dalam sambungan tipe tumpu, $f_{nv}$ (MPa)
Baut A307	310	188
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	620	372
Baut group A(misal,A325), bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	620	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	780	457
Baut A490 atau A490M, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	780	579
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak dikecualikan dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,45 f_u$
Bagian berulir yang memenuhi persyaratan pasal A3.4, bila ulir tidak termasuk dari bidang geser	$0,75 f_u$	$0,563 f_u$

**Kuat nominal tumpu pada lubang – lubang baut :**

$$\phi.R_n = 1,2 \cdot l_c \cdot t_p \cdot f_u \leq 2,4 \cdot d \cdot t_p \cdot f_u \quad (2.44)$$



Dimana :

$R_n$  : Kuat tumpu nominal

$\phi$  : Faktor reduksi tumpu (0,75)

$f_u$  : Kuat tarik putus terendah dari baut atau plat (MPa)

$t_p$  : Tebal plat (mm)

$d$  : Diameter baut nominal (mm)

$l_c$  : Jarak bersih, dalam arah gaya, antara tepi lubang dan tepi lubang  
yang berdekatan atau tepi dari baut atau plat (mm)

#### **Menentukan Jumlah Baut :**

$$n = \frac{R_u}{\phi \cdot R_n} \quad (2.45)$$

Dimana :

$n$  : Jumlah baut

$R_n$  : Tahanan nominal baut

$R_u$  : Beban terfaktor

#### **Kombinasi terhadap tarik dan geser :**

$$\phi \cdot R_n = f'_{nt} \cdot A_b \quad (2.46)$$

*Sumber : SNI 1729:2015*

*Catatan* : Bila tegangan yang diperlukan ( $f_{rv}$ ) kurang dari atau sama dengan 30 % dari

tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f'_{nt} = 1,3 \cdot f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \cdot f_{nv}} f_{rv} \leq f_{nt} \quad (2.47)$$

Dimana :

$A_b$  : Luas tubuh baut tidak berulir nominal atau bagian berulir ( $\text{mm}^2$ )

$f'_{nt}$  : Tegangan tarik nominal yang dimodifikasi mencakup efek  
tegangan geser (MPa)

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

$f_{nt}$  : Tegangan tarik nominal (MPa)

$f_{nv}$  : Tegangan geser (MPa)

$f_{rv}$  : Tegangan geser yang diperlukan menggunakan kombinasi beban  
DFBK (MPa)

**Kontrol terhadap momen :**

$$\phi \cdot M_n = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot a^2 \cdot b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \quad (2.48)$$

$$a = \frac{0,75 \cdot f_u^b \cdot n_b \cdot n \cdot A_b}{f_y \cdot b} \quad (2.49)$$

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \cdot f_u^b \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot A_b \cdot (d_i \text{ terjauh}) \quad (2.50)$$

Dimana :

$n_1$  : Jumlah kolom baut

$n_2$  : Jumlah baris baut

$A_b$  : Luas penampang baut

$b$  : Lebar balok

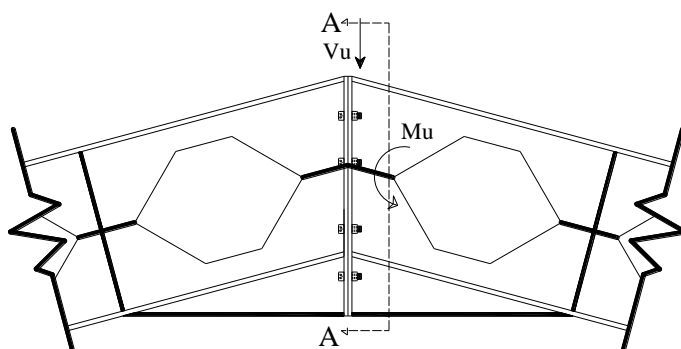
$a$  : Tinggi penampang tekan

$f_u^b$  : Kuat tarik nominal baut

$f_y$  : Tegangan leleh

### 2.7.2 Sambungan Rafter Puncak

#### Sambungan Momen Plat Ujung (*End-plate moment connection*)



Pada prinsipnya menggunakan sambungan momen plat ujung (*End-plate moment connection*) yang telah dibahas sebelumnya pada sub bab sambungan kolom – balok.

### 2.7.3 Sambungan Las pada Plat Ujung

#### Tebal Las Sudut

**Tabel 2.4** Ukuran minimum las sudut

Tebal plat (t) mm	Ukuran min. Las sudut, a (mm)
$t \leq 6$	3
$6 \leq t \leq 13$	5
$13 \leq t \leq 19$	6
$t > 19$	8

Sumber : SNI 1729:2015

Ukuran maksimum dari las sudut dari bagian – bagian yang tersambung harus :

- Sepanjang tepi material dengan ketebalan kurang dari 6 mm, tidak lebih besar dari ketebalan material.

- b. Sepanjang tepi material dengan ketebalan 6 mm atau lebih, tidak lebih besar dari ketebalan material dikurangi 2 mm, kecuali las yang secara khusus diperlihatkan pada gambar pelaksanaan untuk memperoleh ketebalan throat penuh. Untuk kondisi las yang sudah jadi, jarak antara tepi logam dasar dan ujung kaki las boleh kurang dari 2 mm bila ukuran las secara jelas dapat diverifikasi.

### Kontrol sambungan las

$$R_u \leq \phi R_{nw} \quad (2.51)$$

Dimana :

$R_u$  : Beban terfaktor las

$R_{nw}$  : Tahanan nominal per satuan panjang las

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

**Tabel 2.5** Tipe Elektroda las

Elektroda	Tegangan leleh minimum		Kuat tarik minimum ( $f_u$ )	
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)
E 60	50	354	67	460
E 70	57	495	70	485
E 80	67	460	72	495

E 100	87	600	100	690
E 110	97	670	110	760

Sumber: (Padosbajayo, 1994)

### Tahanan nominal Las

$$\phi R_{nw} = \phi \cdot t_e \cdot 0,6 f_{uw} \quad (2.52)$$

Dimana :

$\phi$  : Faktor reduksi (0,75)

$t_e$  : Tebal efektif las (0,707a) dengan a = tebal las sudut

$f_{uw}$  : Kuat tarik las

### Panjang Las yang dibutuhkan :

$$L_w = \frac{R_u}{\phi \cdot R_{nw}} \quad (2.53)$$

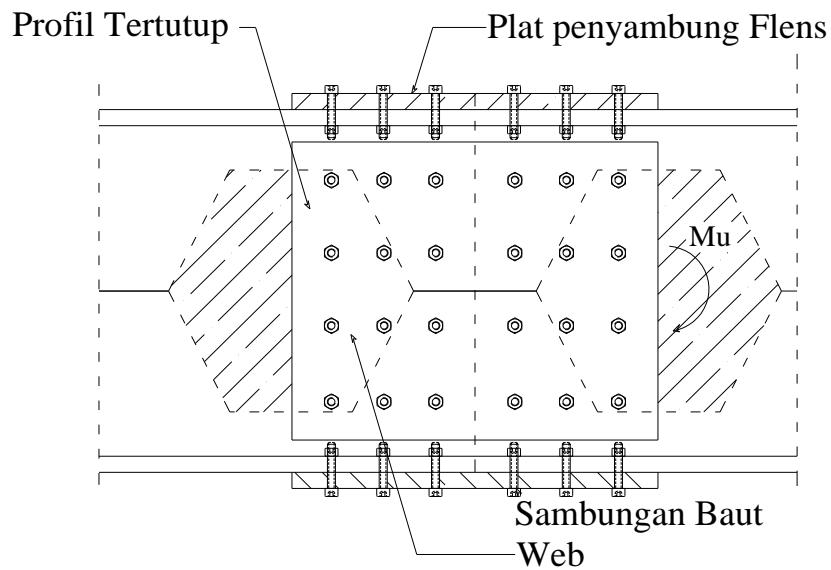
Dimana :

$L_w$  : Panjang las yang dibutuhkan

$R_u$  : Beban terfaktor (N)

$R_{nw}$  : Tahanan nominal per satuan panjang las (N/mm)

#### 2.7.4 Sambungan Balok-Balok



Untuk sambungan balok lurus disarankan memberikan suatu sarana yang memungkinkan untuk menahan momen yang bekerja pada balok tersebut yang dinamakan sambungan momen. Pada sambungan ini disarankan untuk tidak diletakkan pada momen maksimal pada suatu bentang yang disambung.

### 2.8 Kolom

Dari mekanika bahan dasar diketahui bahwa hanya kolom yang sangat pendek saja yang dapat dibebani sampai ke tegangan lelehnya. Situasi yang umum, yakni tekukan (buckling) atau lenturan tiba-tiba akibat ke tidak stabilan terjadi sebelum tercapainya kekuatan penuh material elemen yang bersangkutan. Dengan demikian, untuk desain elemen-elemen tersebut dalam struktur baja, diperlukan pengetahuan yang mendalam mengenai elemen batang tekan.

Teori kekuatan elemen tekan dikenalkan oleh *Leonard Euler*. Suatu batang tekan yang semula lurus mendapat pembebanan konsentrik, dimana semula semua serat dalam keadaan elastic sampai terjadi tekukan. Meskipun *Euler* membahas tentang batang yang terjepit pada salah satu ujungnya dan bertumpuan sederhana pada ujung lainnya, logika yang sama juga dapat diterapkan pada kolom berujung sendi. Karena memiliki perlawanan rotasional ujung sama dengan nol, batang itu menjadi batang dengan kekuatan tekuk kecil.

### **2.8.1 Kekuatan Kolom Dasar**

Untuk menentukan kekuatan kolom dasar, beberapa kondisi perlu diasumsikan bagi sebuah kolom ideal. Sedangkan materialnya dapat diasumsikan bahwa terdapat sifat tegangan-tegangan tekan yang sama di seluruh penampang, tidak terdapat tegangan interval awal seperti yang terjadi karena pendinginan setelah penempaan atau pengelasan. Mengenai bentuk dan kondisi ujung, dapat diasumsikan bahwa kolom tersebut lurus dan prismatik sempurna, resultan beban bekerja melalui sumbu sentroid elemen tekan sampai elemen tekan tersebut melentur. Kondisi ujung harus ditentukan sehingga dapat panjang ujung jepit ekuivalennya. Kemudian asumsi lebih lanjut tentang tekuk, seperti teori defleksi kecil pada problema lentur biasa dapat diberlakukan dan gaya geser dapat diabaikan, serta puntiran atau distorsi penampang lintang tidak



terjadi selama lenturan. Untuk itu kekuatan sebuah kolom dapat diwujudkan sebagai: (*Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.3.1*)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E \cdot Ag}{(KL/r)^2} = F_{cr} \cdot Ag$$

Dimana :

E : modulus elastisitas (kg/cm<sup>2</sup>)

KL/r : rasio kerampingan efektif (panjang sendi ekuivalen)

K : faktor panjang efektif

L : panjang batang yang ditinjau (cm)

Ag : luas penampang kotor (cm<sup>2</sup>)

I : momen inersia (cm<sup>4</sup>)

r : radius girasi =  $\sqrt{I / Ag}$

Filosofi desain faktor beban dan resistensi (LRFD) bertujuan memberikan margin keamanan dan konstanta bagi semua kolom. Bila kekuatan tersebut bervariasi menurut kerampingan, tentulah variasi ini harus dicakup dalam kekuatan nominal Pn

Kekuatan nominal Pn dari suatu elemen tekan adalah; (*Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.7.6*)

$$P_n = Ag \cdot F_{cr}$$

Dimana :

Pn : Kekuatan nominal batang tekan yang dibebani secara aksial

Fcr : tegangan kritis pada kondisi tekan (*tegangan tekuk*) (kg/cm<sup>2</sup>)

Ag : luas penampang kotor (cm<sup>2</sup>)

$$1. \text{ Untuk } \lambda_c \leq 1,5 : \quad F_{cr} = (0,658.\lambda_c^2)F_y$$

$$2. \text{ Untuk } \lambda_c \geq 1,5 : \quad F_{cr} = \left[ \frac{0,887}{\lambda_c^2} \right] . F_y$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}}$$

Dimana :

$\lambda_c$  : parameter kerampingan

$A_g$  : luas penampang kotor (cm<sup>2</sup>)

$K$  : faktor panjang efektif

$L$  : panjang batang/kolom (cm)

$F_y$  : tegangan leleh baja (kg/cm<sup>2</sup>)

$r$  : radius girasi (cm) =  $\sqrt{I / A_g}$

Persyaratan kekuatan dan resistansi menurut LRFD (*Struktur Baja 1, Charles G. Salmon, 6.8.1*)

$$\phi_c P_n \geq P_u$$

Dimana :

$P_n$  : kekuatan nominal (kg)

$P_u$  : beban layanan terfaktor (kg)

$\phi_c$  : faktor reduksi kuat aksial tekan = 0,85

$\phi_b$  : faktor reduksi kuat lentur = 0,90

### 2.8.2 Panjang Tekuk Kolom

Kekuatan kolom mengasumsikan ujung sendi di mana tidak ada kekangan rotasional momen. Kekangan momen nol pada ujung merupakan situasi paling lemah untuk batang tekan yang salah satu ujungnya tidak dapat bergerak transversal relatif terhadap ujung lainnya. Untuk kolom berujung sendi semacam ini, panjang ekivalen ujung sendi  $KL$  merupakan panjang  $L$  sebenarnya; dengan

demikian  $K = 1$ . Panjang ekivalen berujung sendi disebut sebagai panjang efektif. Untuk memaksa sendi plastis pada balok, maka kolom dibuat lebih kuat (*over strenght*). Untuk maksud tersebut, maka kolom direncanakan masih dalam keadaan elastis. Panjang efektif kolom ( $L_k$ ) didapat dengan mengalihkan suatu faktor panjang efektif ( $k$ ) dengan panjang kolom ( $L$ ), nilai “ $k$ ” didapat dari nomograf (*AISC, LRFD; Manual Of Steel Counstraction, Column Design 3-6*), dengan menghitung nilai  $G$ , yaitu :

$$G = \frac{\sum (I / L)_{kolom}}{\sum (I / L)_{balok}}$$

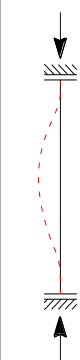
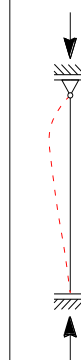

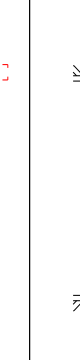
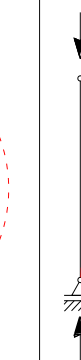
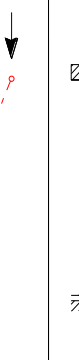




Dimana

$I$  : momen kelembaman kolom/balok ( $\text{cm}^4$ )

$L$  : panjang kolom/balok (cm)

Kolom dengan kekangan yang besar terhadap rotasi dan translasi pada ujung-ujungnya (contohnya tumpuan jepit) akan mampu menahan beban yang besar dibandingkan dengan kolom yang mengalami rotasi serta translasi pada bagian tumpuannya (contohnya adalah tumpuan sendi). Selain tumpuan ujung, besar beban yang dapat diterima oleh suatu komponen struktur tekan juga tergantung dari panjang efektifnya. Semakin kecil panjang efektif suatu komponen struktur tekan, maka semakin kecil pula resiko terhadap masalah tekuk.

Panjang efektif suatu kolom secara sederhana dapat didefinisikan sebagai jarak diantara dua titik pada kolom tersebut yang mempunyai momen sama dengan nol, atau didefinisikan pula sebagai jarak diantara dua titik belok dari kelengkungan kolom.

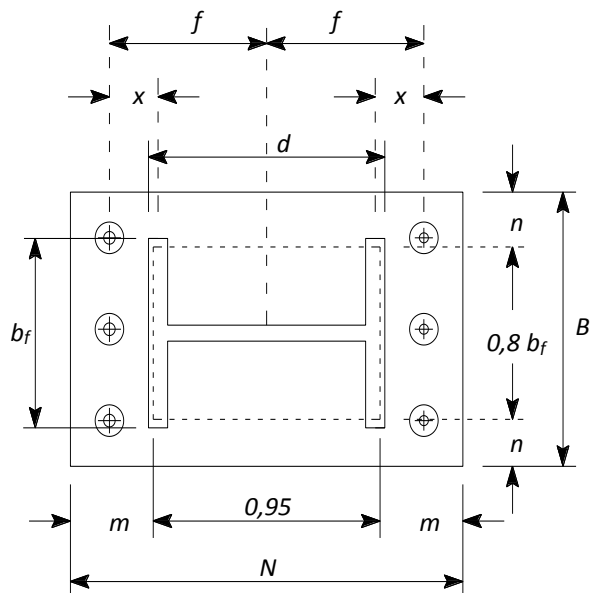
Garis terputus menunjukkan posisi kolom saat tertekuk	(a) 	(b) 	(c) 	(d) 	(e) 	(f) 
Nilai $k_c$ teoritis	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Nilai $k_c$ desain	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Keterangan kode ujung	 (jepit)  (sendi)  (rol tanpa rotasi)  (ujung bebas)					

(Sumber; *Perencanaan Struktur Baja Metode LRFD edisi II*, Agus Setiawan, hal:57)

Gambar 2.2. Nilai faktor panjang tekuk untuk beberapa macam perletakan

## 2.9 Plat landasan (*Base plate*)

Dalam perencanaan suatu struktur baja , bagian penghubung antara kolom struktur dengan pondasi sering disebut dengan istilah Plat landasan (*base plate*). Pada umumnya suatu struktur base plate terdiri dari suatu plat dasar, angkur serta sirip–sirip pengaku (*stiffener*). Suatu sturuktur base plate dan angkur harus memiliki kemampuan untuk mentransfer gaya geser, gaya aksial dan momen lentur ke pondasi.



**Gambar 2.15** Notasi pada plat landasan (*Base Plate*)

**Dimensi *Base Plate* :**

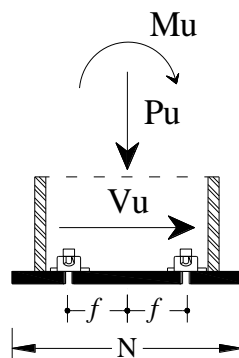
$$A1 = B \times N \quad (2.54)$$

Dimana :

N : Panjang *base plate*

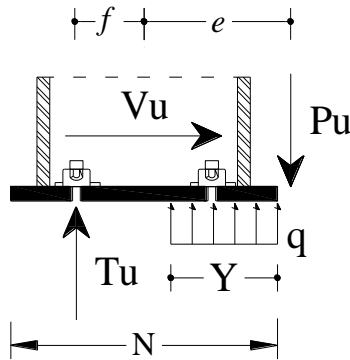
B : Lebar *base plate*

A1 : Luas permukaan *base plate*



**Gambar 2.16** Beban yang bekerja pada *Base plate*

**Perhitungan Eksentrisitas :**



**Gambar 2.17** *Base Plate* dengan eksentrisitas beban

$$e = \frac{Mu}{Pu} \quad (2.55)$$

Dimana :

$e$  : Jarak Eksentrisitas (mm)

$M_u$  : Momen yang terjadi (Nmm)

$P_u$  : Gaya tekan yang terjadi (N)

**Perhitungan Tegangan Tumpu Pada Beton :**

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot B \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad (2.56)$$

$$Y = \left(f + \frac{N}{2}\right) \pm \sqrt{\left(-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right)^2 - \frac{2P_u (f+e)}{q}} \quad (2.57)$$

$$T_u = q \cdot Y - P_u \quad (2.58)$$

Dimana :

$\phi_c$  : Faktor Reduksi (0,65)

$f'_c$  : Kuat tekan beton

$B$  : Lebar *base plate*

$T_u$  : Gaya tarik pada angkur

$q$  : Gaya merata pada plat (N/mm)

$A_1$  : Luas *base plate*

$A_2$  : Luas maksimum *base plate* yang menahan beban konsentrik

### Perhitungan Angkur :

Angkur yang direncanakan untuk memikul kombinasi beban geser dan tarik.

Kontrol geser :

$$V_{ub} \leq \phi_{fnv} \times A_b \quad (2.59)$$

Kontrol Tarik :

$$T_{ub} \leq \phi_{fnt} \times A_b \quad (2.60)$$

Dimana :

$T_{ub}$  : Gaya tarik yang terjadi (N)

Vub : Gaya geser yang terjadi (N)

Ab : Luas tubuh angkur (mm<sup>2</sup>)

Ø : Faktor reduksi (0,75)

fnt : Tegangan tarik nominal (MPa)

fnv : Tegangan geser (MPa)

### **Tebal *Base Plate***

$$m = \frac{(N - 0,95.d)}{2} \quad (2.61)$$

$$n = \frac{(B - 0,8.b_f)}{2} \quad (2.62)$$

$$x = f - \frac{d}{2} + \frac{t_f}{2} \quad (2.63)$$

$$f = \frac{N}{2} - \text{Jarak as angkur dengan sisi terluar plat} \quad (2.64)$$

Maka :

$$tp = 2,11 \sqrt{\frac{Pu.m - \left(\frac{Y}{2}\right)}{B.f_y}} \quad (2.65)$$

Dimana :

tp : Tebal *base plate*

B : Lebar *base plate*



$f_y$  : Tegangan leleh baja

**Kontrol terhadap momen :**

$$M_n \geq M_{pl} \quad (2.66)$$

$$M_{pl} = \frac{T_u \cdot x}{B} \quad (2.67)$$

$$M_n = M_p = \frac{t_p^2}{4} \cdot f_y \quad (2.68)$$

Dimana :

$M_{pl}$  : Momen lentur terfaktor pada *base plate* (Nmm)

$M_n$  : Momen nominal pada *base plate* (Nmm)

$t_p$  : Tebal *base plate*

$B$  : Lebar *base plate*

$f_y$  : Tegangan leleh baja (Mpa)

## **BAB III**

### **METODELOGI**

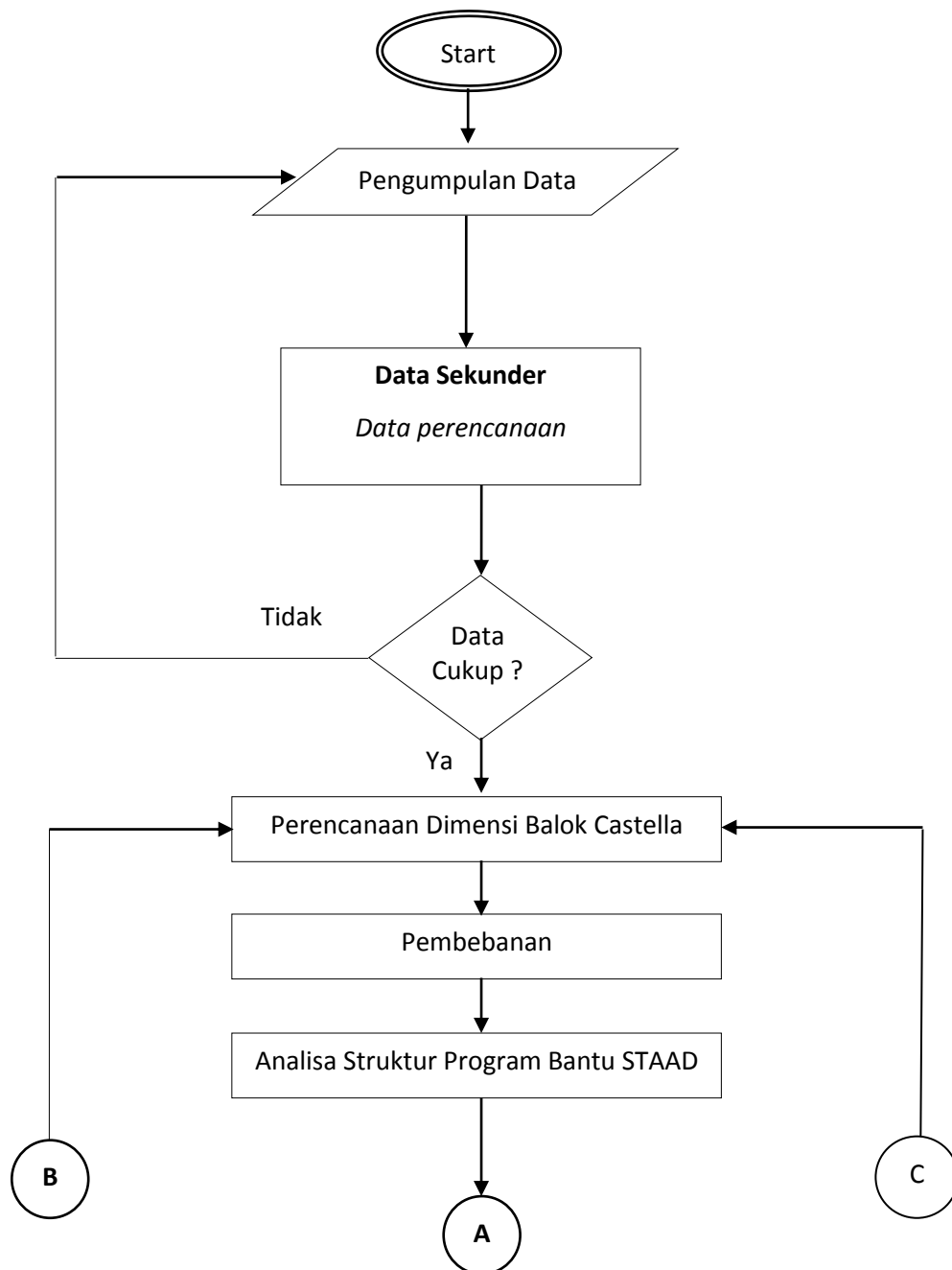
#### **3.1 Data Perencanaan**

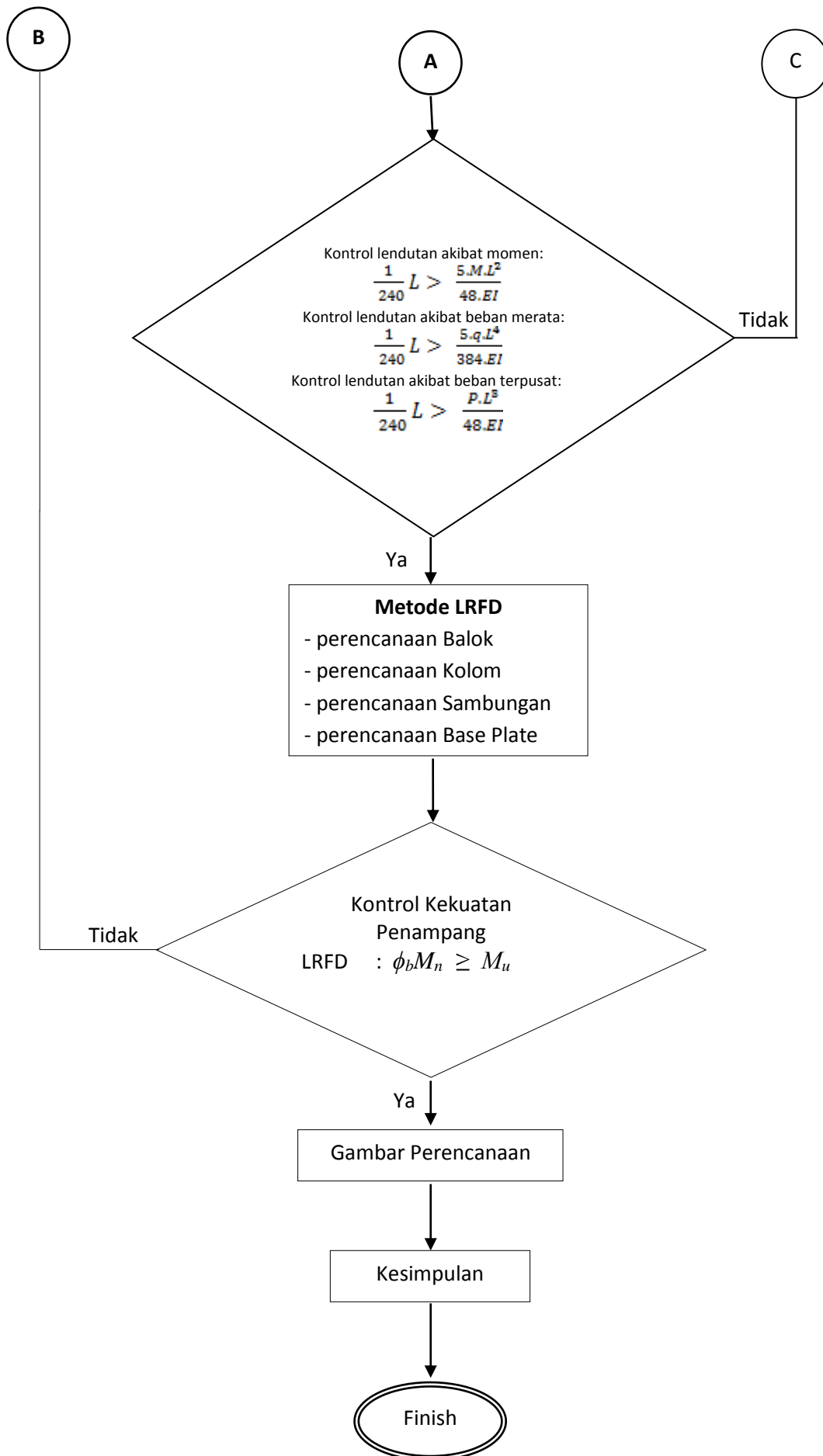
Data perencanaan struktur atas Pasar Modern Pelabuhan Banjarmasin

- Bentang Struktur kuda-kuda : 40 meter
- Jarak antar kuda-kuda : 6 meter
- Tinggi Kolom : 8,5 meter
- Kemiringan kuda-kuda : 10°
- Jenis Atap : Zinalume AZ 150 cd 760
- Jenis Baja Profil
  - ✓ Balok : Profil Castella
  - ✓ Kolom : Profil WF
  - ✓ Gording : Profil C

### 3.2 Bagan Alir Analisis

Bagan alir analisa perencanaan struktur *Gable Frame* :





## BAB IV

### PERHITUNGAN PERENCANAAN

#### 4.1 Perencanaan Gording

Diketahui :

$$\text{Bentang Kuda-kuda (L)} = 40 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi kolom} = 8,53 \text{ m}$$

$$\text{Jarak antar portal} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan atap} = 10^\circ$$

Panjang balok miring

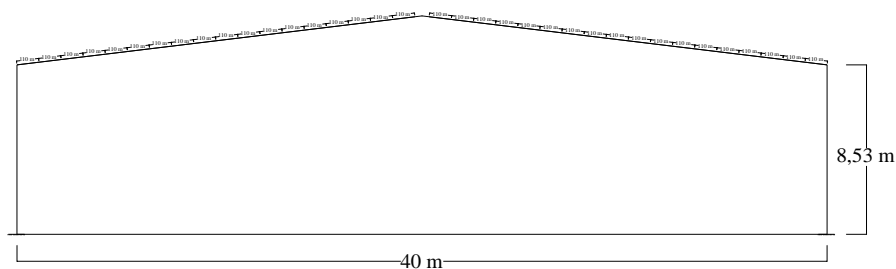
$$= \frac{\frac{1}{2} L}{\cos \alpha} = \frac{\frac{1}{2} 40}{\cos 10} = 20,309 \text{ m}$$

Jarak antar gording

$$= \frac{\text{Panjang balok miring}}{\text{Jumlah medan gording rencana}}$$

$$= \frac{20,309}{18} = 1,13 \text{ m}$$

$$\text{Dipakai jarak antar gording} = 1,1 \text{ m}$$



**Gambar 4.1** Jarak antar gording

**Dicoba profil : C 125. 65 . 6. 8**

(Agus Setiawan 2013 edisi kedua, tabel baja Lampiran 3)

Berat gording = 13,43 kg/m

a = 125 mm

b = 65 mm

tw = 6 mm

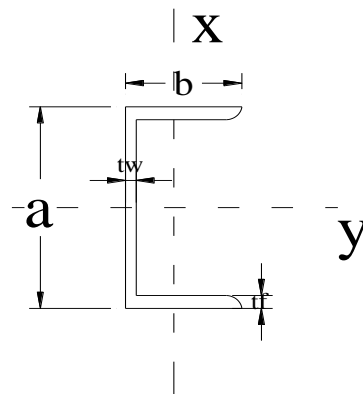
tf = 8 mm

$I_x = 4240000 \text{ mm}^4$

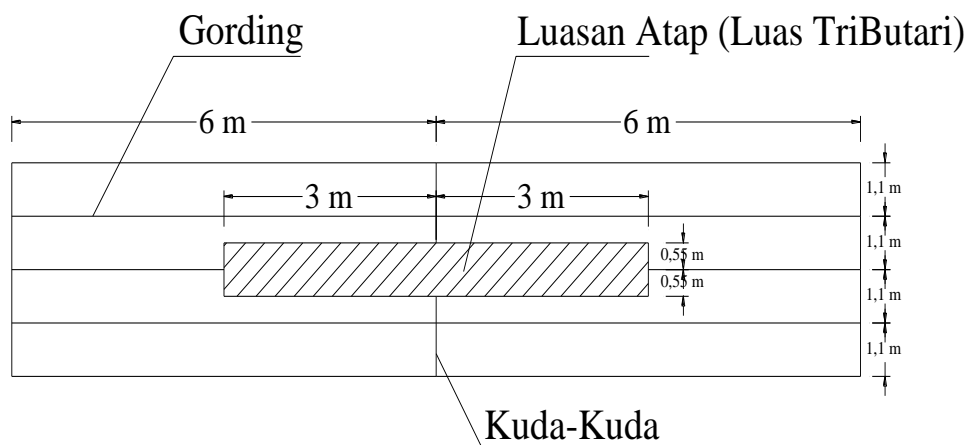
$I_y = 618000 \text{ mm}^4$

$Z_x = 67840 \text{ mm}^3$

$Z_y = 13430 \text{ mm}^3$



Mutu Baja ringan :  $f_y = 250 \text{ MPa}$   
 $f_u = 410 \text{ MPa}$



**Gambar 4.2.** Denah Atap Kuda-Kuda

## 4.2 Pembebanan Gording

Diketahui :

Jenis Atap = Zincalume tipe 935

Berat atap = 4,83 kg/m<sup>2</sup>

Jarak antar gording = 1,13 m

Jarak antar portal = 6,00 m

Luas Tributari (At) = 6,770 m<sup>2</sup>

### 4.2.1 Beban Mati (D)

#### Bedan Mati Gording

Berat atap = Berat atap x Jarak gording

$$= 4,8 \times 1,13 = 5,449 \text{ kg/m}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat Gording} & = & 13,43 \text{ kg/m} \\ & & \hline & & 18,879 \text{ kg/m} \end{array} +$$

Berat sambungan (10%)

$$\begin{array}{rcl} = 0,1 \times 18,879 & = & 1,888 \text{ kg/m} \\ & & \hline \text{Total } q & = & 20,77 \text{ kg/m} \end{array} +$$

$$\begin{array}{rcl} Dx & = & q \times \cos \alpha \\ & = & 20,77 \times \cos 10 \\ & = & 20,452 \text{ kg/m} \end{array} \qquad \begin{array}{rcl} Dy & = & q \times \sin \alpha \\ & = & 20,77 \times \sin 10 \\ & = & 3,606 \text{ kg/m} \end{array}$$

$$Mx = \frac{1}{8} (q \cdot \cos \alpha)(\text{jarak antar portal})^2$$

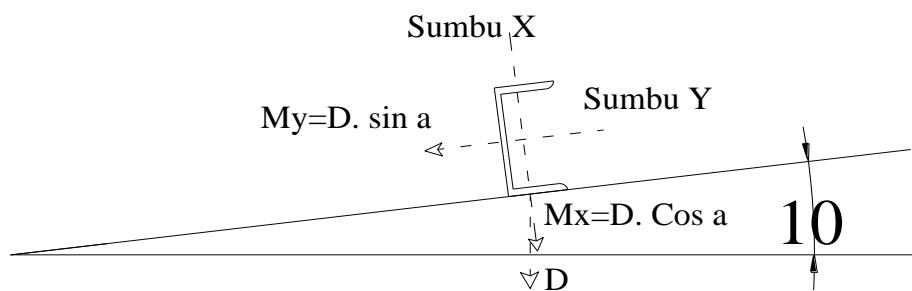
$$= \frac{1}{8} \left( 20,45 \right) 6^2$$

$$= 92,03 \text{ kg/m}$$

$$M_y = \frac{1}{8} (q \cdot \sin a) (1/2 \times \text{jarak antar portal})^2$$

$$= \frac{1}{8} \left( 3,61 \right) 0,5^2 \cdot 10^2$$

$$= 11,27 \text{ kg/m}$$



**Gambar 4.3** skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Mati

### Beban Mati Kuda-kuda

#### a) Beban gording tepi

$$\text{Berat atap} = \text{Berat atap} \times 1/2 \text{ Jarak gording} \times \text{Jarak antar portal}$$

$$= 4,8 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,1 \right] \times 6 = 16,348 \text{ kg}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Berat Gording} & = & 13,43 \times 6 = 80,58 \text{ kg} \\ & & \hline & & 96,93 \text{ kg} \end{array}$$

Berat sambungan (10%)

$$\begin{array}{rcl} & = & 0,1 \times 96,928 = 9,693 \text{ kg} \\ & & \hline \text{Total D1} & = & 106,62 \text{ kg} \end{array} +$$





#### 4.2.2 Beban Hidup Atap (La) :

Menurut SNI 1727-2013 tabel 4-1 pendistribusian beban hal 27 untuk

Rangka tumpu layar penutup (Lo) sebesar : 0,89 kN

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{dimana } 0,58 \leq L_r \leq 0,96$$

Faktor reduksi R1 dan R2 harus ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Luas Tributari (AT)} = 6,77 \text{ m}^2$$

$$= 1 \quad \text{untuk } AT \leq 18,58 \text{ m}^2$$

$$R_1 = 1,2 - 0,001 AT \quad \text{untuk } 18,58 \text{ m}^2 \leq AT \leq 55,74 \text{ m}^2$$

$$= 0,6 \quad \text{untuk } AT \geq 55,74 \text{ m}^2$$

Jumlah peninggian (F)

$$F = 0,12 \times \alpha$$

$$= 0,12 \times 10 = 1,20$$

$$= 1 \quad \text{untuk } F \leq 4$$

$$R_2 = 1,2 - 0,05 F \quad \text{untuk } 4 \leq F \leq 12$$

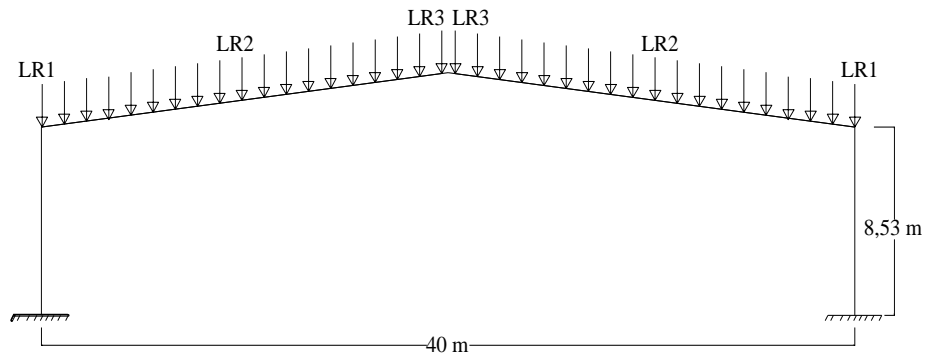
$$= 0,6 \quad \text{untuk } F \geq 12$$

$$L_r = L_o \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{dimana } 0,58 \leq L_r \leq 0,96$$

$$= 0,89 \cdot 1 \cdot 1$$

$$= 0,89 \text{ kN/m}^2 \sim 89,00 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 L_r x &= L_r \times \cos \alpha & L_r y &= L_r \times \sin \\
 &= 89,00 \times \cos 10 & &= 89,00 \times \sin 10 \\
 &= 87,648 \text{ kg/m} & &= 15,45 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.6** Skema Pembebanan untuk Beban Hidup atap

#### 4.2.3 Beban Angin (W) :

Menurut SNI 1727-2013 hal 64, untuk menentukan beban angin SPBAU (Sistem Penahan Beban Angin Utama) harus memenuhi langkah-langkah sebagai berikut :

**Langkah 1** : menentukan kategori resiko bangunan gedung atau struktur lain

kategori resiko 3 : Bangunan gedung dan struktur lain, kegagalan yang dapat menimbulkan resiko besar bagi

kehidupan manusia

Ibukota Kabupaten	Cuaca	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kec. Angin (km/jam)	Arah Angin
Pelaihari	Hujan Ringan	25 - 33	64 - 96	35	Timur
Kotabaru	Hujan Ringan	25 - 33	65 - 98	35	Timur Laut
Martapura	Hujan Ringan	25 - 33	64 - 96	25	Timur
Marabahan	Hujan Ringan	25 - 33	60 - 95	25	Timur
Rantau	Hujan Ringan	25 - 33	60 - 95	25	Timur

**Langkah 2:** Tentukan kecepatan angin dasar,  $V$ , untuk kategori risiko

Diambil kecepatan angin dasar rata-rata daerah Pelaihari sebesar

$$35 \text{ km/jam} \sim 9,72 \text{ m/s}$$

**Langkah 3:** Tentukan parameter beban angin:

- Faktor arah angin,  $K_d$

Sistem Penahan Beban Angin Bangunan gedung : 0,85

- Kategori eksposur

Eksposur B daerah perkotaan dan pinggiran kota

- Faktor topografi,  $K_{zt}$

$$K_{zt} = 1,00$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,63 \left( \frac{B+h}{L_z} \right)^{0,63}}} = 0,857$$

$$G = 0,925 \left[ \frac{1 + 1,7 \times gQ \times I_z \times Q}{1 + 1,7 \times gQ \times I_z} \right]$$

$$= 0,925 \frac{2,508}{2,760}$$

$$G = 0,841$$

- Klasifikasi ketertutupan

**Bangunan gedung tertutup**

- Faktor efek tiupan angin,  $G$

$$B = 30 \text{ m} \quad gQ = 3,4$$

$$\begin{aligned}
 h &= 8,53 \text{ m} & gV &= 3,4 \\
 c &= 0,3 & Z &= 0.6 \times h < Z_{\min} \\
 l &= 97,54 \text{ m} & &= 5,118 < 9,14 \\
 & & Z \text{ diambil } Z_{\min} &= 9,14 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$I_Z = c \left( \frac{10}{Z} \right) = 0,30453$$

$$L_Z = 1 \left( \frac{Z}{10} \right) = 94,65963$$

- Koefisien tekanan internal, ( $GC_{pi}$ )

0,18 (Tekan)

-0,18 (Hisap)

**Langkah 4:** Tentukan koefisien eksposur tekanan velositas  $K_z$  atau  $K_h$ ,

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 7,0 & Z &= 8 \text{ m} \\
 Z_g &= 365,76 \text{ m} & h &= 8,53 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_z &= 2,01 \times \left( \frac{Z}{Z_g} \right)^{2/\alpha} \\
 &= 2,01 \times \left( \frac{8}{365,76} \right)^{0,285714} \\
 &= 0,67434
 \end{aligned}$$

$$K_h = 2,01 \times \left( \frac{h}{Z_g} \right)^{2/\alpha}$$

$$= 2,01 \times \left( \frac{8,53}{365,76} \right)^{0,285714}$$

$$= 0,68681$$

**Langkah 5:** Tentukan tekanan velositas  $q_z$  atau  $q_h$

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2$$

$$= 0,613 \quad 0,674 \quad 0,85 \quad 1,00 \quad 9,72^2$$

$$= 33,21 \quad \text{N/m}^2$$

$$q_h = 0,613 K_h K_{zt} K_d V^2$$

$$= 0,613 \quad 0,687 \quad 0,85 \quad 1,00 \quad 9,72^2$$

$$= 33,83 \quad \text{N/m}^2$$

**Langkah 6:** Tentukan koefisien tekanan eksternal,  $C_p$  atau  $C_N$

Koefisien tekanan dinding  $C_p$

$$L/B = \frac{40}{100} = 0,40$$

$$\text{dinding di sisi angin datang} \quad (q_z) = 0,8$$

$$\text{dinding di sisi angin pergi} \quad (q_h) = -0,5$$

Koefisien tekanan Atap  $C_p$

$$h/L = \frac{8,53}{40} = 0,21 \sim 0,3$$

$C_p$	$10^\circ$	sisi angin datang (Tekan)	-0,7	menjauhi
			-0,18	mendekati
		sisi angin pergi (Hisap)	-0,3	menjauhi

**Langkah 7:** Hitung tekanan angin, p, pada setiap permukaan bangunan

gedung tekanan angin datang pada dinding

$$\begin{aligned} P &= qGC_p - q_i(GC_{pi}) \\ &= 33,21 \times 0,84 \times 0,8 - 33,83 \times 0,18 \\ &= 16,246 \text{ N/m}^2 \sim 1,6246 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan angin pergi pada dinding

$$\begin{aligned} P &= qGC_p - q_i(GC_{pi}) \\ &= 33,83 \times 0,8 \times -0,5 - 33,83 \times -0,18 \\ &= -8,1284 \text{ N/m}^2 \sim -0,8128 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Beban angin datang pada dinding

$$\begin{aligned} W_{\text{Tepi}} &= P \times \frac{1}{2} \text{ jarak portal} \\ &= 1,625 \times \frac{1}{2} \times 6 = 4,874 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{Tengah}} &= P \times \text{jarak portal} \\ &= 1,625 \times 6 = 9,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Beban angin pergi pada dinding

$$\begin{aligned} W_{\text{Tepi}} &= P \times \frac{1}{2} \text{ jarak portal} \\ &= -0,813 \times \frac{1}{2} \times 6 = -2,44 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{Tengah}} &= P \times \text{jarak portal} \\ &= -0,813 \times 6 = -4,88 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Tekanan angin datang pada Atap

$$P_1 = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad \text{menjauhi}$$

$$\begin{aligned}
&= 33,83 \times 0,84 \times -0,7 - 33,83 \times -0,18 \\
&= -13,8153 \text{ N/m}^2 \sim -1,38153 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$P2 = q_{GCp} - q_i(GC_{pi}) \quad \text{menuju}$$

$$\begin{aligned}
&= 33,83 \times 0,84 \times -0,18 - 33,83 \times 0,18 \\
&= -11,207 \text{ N/m}^2 \sim -1,12 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P \text{ total} &= -1,382 + -1,12068 \\
&= -2,502 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

Tekanan angin pergi pada gording

$$\begin{aligned}
P &= q_{GCp} - q_i(GC_{pi}) \\
&= 33,83 \times 0,8 \times -0,3 - 33,83 \times -0,18 \\
&= -2,4416 \text{ N/m}^2 \sim -0,24416 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

### Beban Angin pada Gording

$$\begin{aligned}
W_{tekan} &= P \times \text{Jarak antar gording} \\
&= -2,502 \times \left[ 1,13 \right] \\
&= -2,82 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
W_{Hisap} &= P \times 1/2 \text{ jarak antar gording} \\
&= -0,244 \times \left[ 1,13 \right] \\
&= -0,28 \text{ kg/m}
\end{aligned}$$

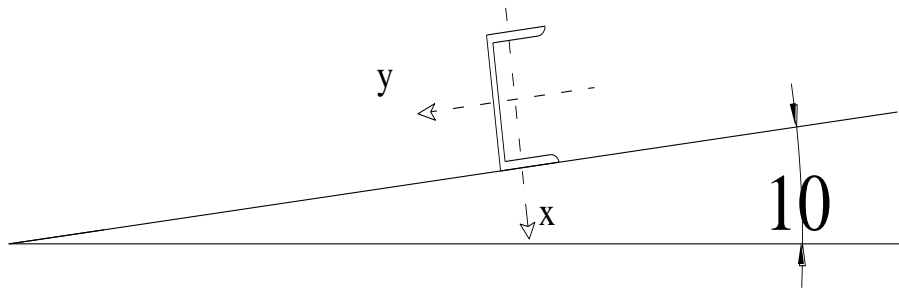
$$W_y \text{ Tekan} = -2,82 \text{ kg/m}$$

$$W_x \text{ Tekan} = 0 \text{ kg/m}$$

$$W_y \text{ Hisap} = -0,28 \text{ kg/m}$$

$$W_x \text{ Hisap} = 0 \text{ kg/m}$$





**Gambar 4.7** skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Angin

### Beban Angin pada Kuda-kuda

Beban angin datang pada atap

$$\begin{aligned}
 W \text{ Tepi} &= P \times \frac{1}{2} \text{ jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= -2,502 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,13 \right] \times 6,0 \\
 &= -8,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ Tengah} &= P \times \text{jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= -2,502 \times 1,13 \times 6,0 \\
 &= -16,94 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

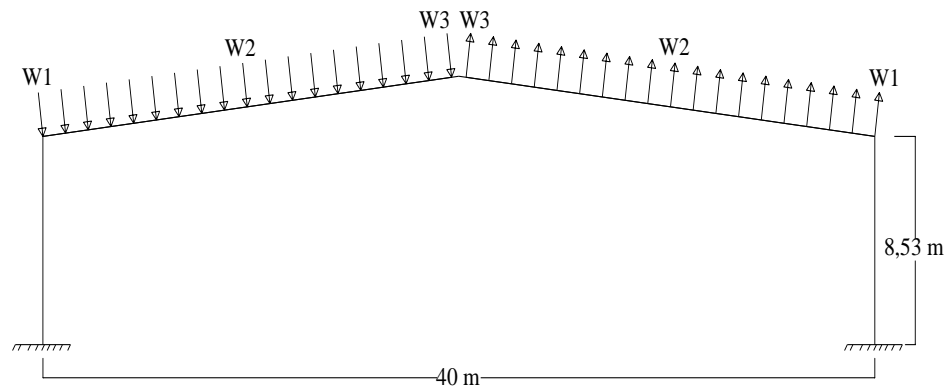
$$\begin{aligned}
 W \text{ Puncak} &= P \times \frac{1}{2} \text{ jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= -2,502 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,13 \right] \times 6,0 \\
 &= -8,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Beban angin pergi pada atap

$$\begin{aligned}
 W \text{ Tepi} &= P \times \frac{1}{2} \text{ Jarak gording} \times \text{Jarak antar portal} \\
 &= -0,24 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,13 \right] \times 6,0 \\
 &= -0,83 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W \text{ Tengah} &= P \times \text{Jarak gording} \times \text{Jarak antar portal} \\
 &= -0,24 \times 1,13 \times 6,0 \\
 &= -1,65 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{Puncak}} &= P \times \frac{1}{2} \text{ Jarak gording} \times \text{Jarak antar portal} \\
 &= -0,24 \times \left( \frac{1}{2} \times 1,13 \right) \times 6,0 \\
 &= -0,83 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.8** Skema Pembebanan untuk Beban angin

#### 4.2.4 Beban Hujan ( R )

Menurut SNI 1727-2013 hal 38, perencanaan beban hujan rencana

sebagai berikut :

$$ds = 10 \text{ mm}$$

$$dh = 10 \text{ mm}$$

$$R = 0,0098 \times (ds + dh)$$

$$= 0,0098 \times (20)$$

$$= 0,196 \text{ kN/m}^2 \sim 19,6 \text{ kg/m}^2$$

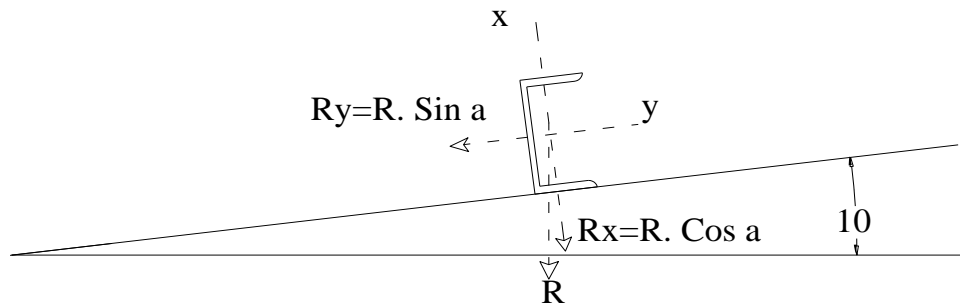
#### Beban Hujan pada Gording

$$R = 19,6 \times \text{jarak gording}$$

$$= 19,6 \times 1,13$$

$$= 22,1137 \text{ kg/m}$$

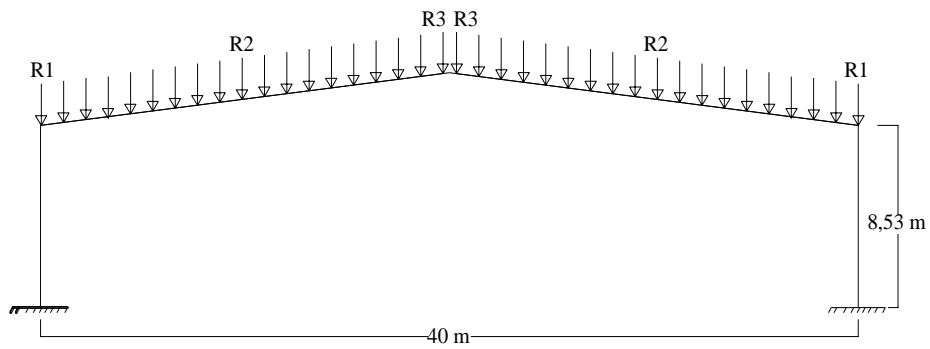
$$\begin{aligned}
 R_x &= R \times \cos \alpha & R_y &= R \times \sin \alpha \\
 &= 22,1137 \times \cos 10 & &= 22,1137 \times \sin 10 \\
 &= 21,78 \text{ kg/m} & &= 3,84 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.9** skema Pembebanan Pada Gording Akibat Beban Hujan

#### Beban Hujan pada Kuda-kuda

$$\begin{aligned}
 R1 &= 19,6 \times \frac{1}{2} \text{ jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= 19,6 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,13 \right] \times 6,0 \\
 &= 66,3412 \text{ kg} \\
 R2 &= 19,6 \times \text{jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= 19,6 \times 1,13 \times 6,0 \\
 &= 132,682 \text{ kg} \\
 R3 &= 19,6 \times \frac{1}{2} \text{ jarak antar gording} \times \text{jarak antar portal} \\
 &= 19,6 \times \left[ \frac{1}{2} \times 1,13 \right] \times 6,0 \\
 &= 66,34 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

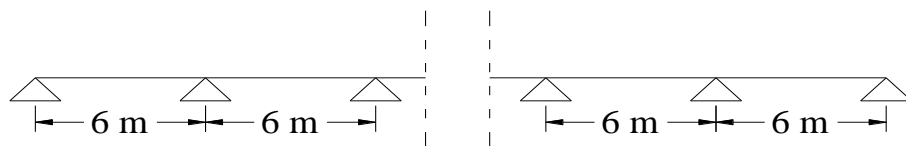


**Gambar 4.10** Skema Pembebanan untuk Beban hujan

**Tabel 4.1** Pembebanan Gording

Beban		D	Lr	R	W	
arah		(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	
					Datang	Pergi
y		11,27	15,45	3,84	-2,82	-0,28
x		92,03	87,65	21,78	0,00	0,00

Perhitungan Statika



**Gambar perhitungan statika gording sejarak 10 m**

Dengan menggunakan program STAAD PRO V8 di dapat momen dari hasil

kombinasi beban terbesar :  $1,2 D + 1,6 Lr + 0,5 W$

Dipakai kombinasi terbesar : Kombinasi 3

$$M_{uy} = 1,426 \text{ kNm} = 1426000 \text{ N.mm}$$

$$M_{ux} = 9,989 \text{ kNm} = 9989420 \text{ N.mm}$$

**Kontrol Lentur :**  $M_u \leq \phi M_n$  (SNI 1729-2015)

$$\phi M_{nx} = \phi \times Z_x \times f_y$$

$$= 0,9 \times 67.840 \times 250$$

$$= 15264000 \text{ Nmm} > 9989420 \text{ Nmm} \quad \mathbf{AMAN}$$

$$\emptyset \text{ Mny} = \emptyset \times Z_y \times f_y$$

$$= 0,9 \times 13430 \times 250$$

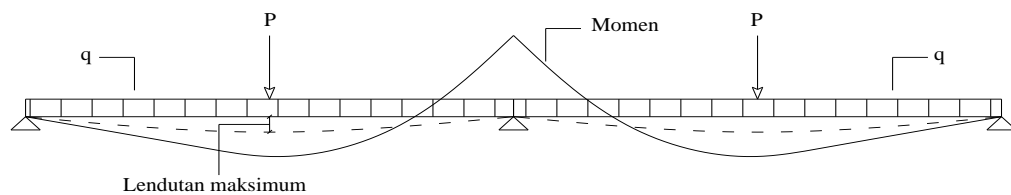
$$= 3021750 \text{ Nmm} > 1426000 \text{ Nmm} \quad \mathbf{AMAN}$$

$$\left( \frac{M_{ux}}{\emptyset \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\emptyset \times M_{ny}} \right)$$

$$\left( \frac{9989420}{0,9 \times 15264000} + \frac{1426000}{0,9 \times 3021750} \right) < 1$$

$$0,381283 < 1 \quad \mathbf{OK}$$

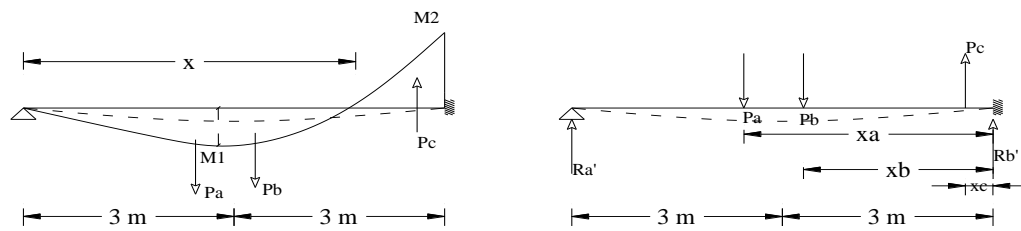
### Kontrol Lendutan



**Gambar 4.11** Lendutan Maksimum pada gording

$$f_{ijin} = \frac{L}{240} \quad (\text{SNI 03-1729-2002 hal 15})$$

$$f_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{6000}{240} = 25,00 \text{ mm}$$



**Gambar.** Perhitungan Lendutan pada gording denga momen area (arah X)

x (momen=0) : (menggunakan interaksi)

$$3,0 \text{ m} \longrightarrow M1 = 6,833 \text{ kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ kNm}$$

$$6 \text{ m} \longrightarrow M2 = -9,989 \text{ kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x = 4,5 \text{ m} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$Pa = \frac{2}{3} \times 6,833 \times 3 = 13,67 \text{ kNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 6,833 \times 1,5 = 6,83 \text{ kNm}^2$$

$$Pc = \frac{1}{3} \times -9,989 \times 1,5 = -4,99 \text{ kNm}^2$$

$$Xa = 3 + \left( \frac{3}{8} \times 3 \right) = 4,13 \text{ m}$$

$$Xb = \left( \frac{5}{8} \times 1,5 \right) + 1,5 = 2,44 \text{ m}$$

$$Xc = \frac{1}{4} \times 1,5 = 0,38 \text{ m}$$

$$\Sigma Ma' = 0,0$$

$$\left[ Ra' \times 6 \right] - \left[ 13,67 \times 4,13 \right] - \left[ 6,83 \times 2,44 \right] + \left[ 4,99 \times 0,38 \right] = 0$$

$$Ra' = 11,86 \text{ kNm}^2$$

$$M_{\max} = \left[ Ra' \times 3 \right] - \left[ Pa \times \frac{3}{8} \times 3 \right]$$

$$= \left[ 11,86 \times 3 \right] - \left[ 13,67 \times \frac{3}{8} \times 3 \right]$$

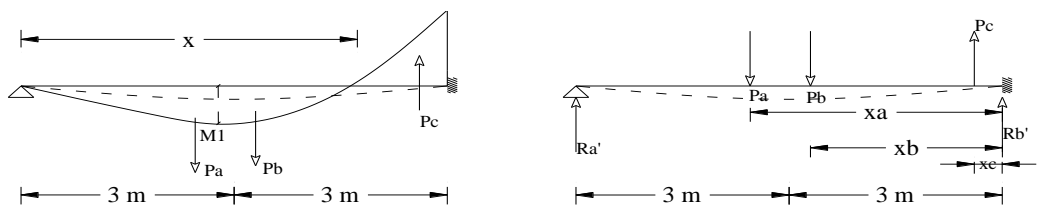
$$= 20,203 \text{ kNm}^3$$

$$= 20203125000000,0 \text{ Nmm}^3$$

$$\Delta x = \frac{M_{\max}}{E.Ix} = \frac{20203125000000,0}{200000 \times 4240000} = 23,82 \text{ mm}$$

**Lendutan arah y :**

Menggunakan metode momen area :



**Gambar.** Perhitungan Lendutan pada gording dengan momen area (arah y)

x (momen=0) : (menggunakan interaksi)

$$3,0 \text{ m} \longrightarrow M1 = 0,974 \text{ kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ kNm}$$

$$6 \text{ m} \longrightarrow M2 = -1,402 \text{ kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x = 4,5 \text{ m} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$Pa = \frac{2}{3} \times 0,974 \times 3 = 1,95 \text{ kNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 0,974 \times 1,5 = 0,97 \text{ kNm}^2$$

$$Pc = \frac{1}{3} \times -1,402 \times 1,5 = -0,70 \text{ kNm}^2$$

$$Xa = 3 + \left( \frac{3}{8} \times 3 \right) = 4,13 \text{ m}$$

$$Xb = \left( \frac{5}{8} \times 1,5 \right) + 1,5 = 2,44 \text{ m}$$

$$Xc = \frac{1}{4} \times 1,5 = 0,38 \text{ m}$$

$$\Sigma Mb' = 0,0$$

$$\begin{aligned} & \left[ Rb' \times 6 \right] - \left[ 1,95 \times 4,13 \right] - \left[ 0,97 \times 2,44 \right] \\ & + \left[ 0,70 \times 0,38 \right] = 0 \end{aligned}$$

$$Rb' = 1,69 \text{ kNm}^2$$

$$M_{\max} = \left[ Rb' \times 3 \right] - \left[ Pa \times \frac{3}{8} \times 3 \right]$$



$$= \left[ 1,69 \times 3 \right] - \left[ 1,95 \times \frac{3}{8} \times 3 \right]$$

$$= 2,882 \text{ kNm}^3$$

$$= 2881875000000,0 \text{ Nmm}^3$$

$$\Delta y = \frac{M_{\max}}{E.I_y} = \frac{2881875000000,0}{200000 \times 618000} = 23,32 \text{ mm}$$

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

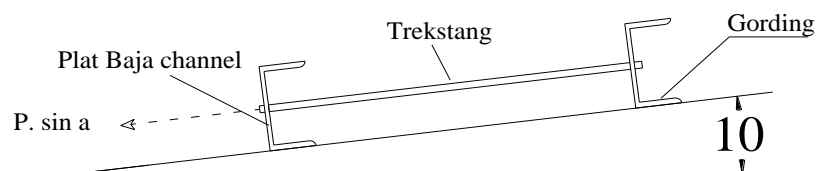
$$= \sqrt{23,82^2 + 23,32^2}$$

$$= 33,3 \text{ mm} \longrightarrow > \Delta \text{ ijin} = 25,00 \text{ mm}$$

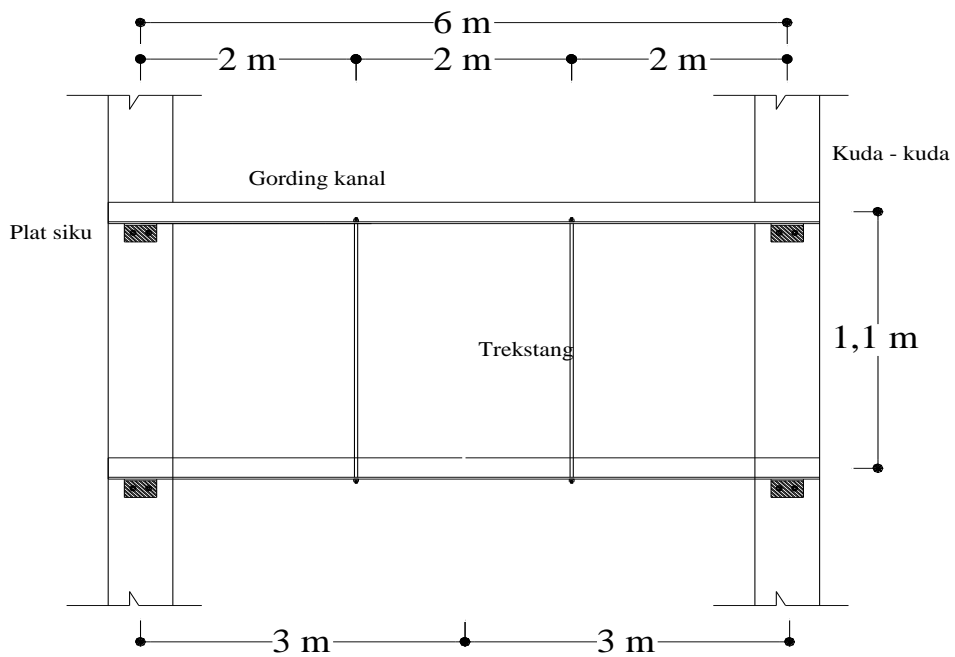
**TIDAK AMAN**

Karena lendutan tidak aman, maka perlu dipasang trekstang

perencanaan trekstang :



**Gambar 4.12** Gaya Tarik Trekstang



**Gambar 4.13** Jarak antar trekstang pada gording

#### 4.3 Perhitungan Trekstang

$$\begin{aligned}
 P_u &= 1,2 D + 1,6 L_r + 0,5 W \\
 &= 1,2 \cdot 124,60 + 1,6 \cdot 15,45 + 0,5 \cdot -18,59 \\
 &= 164,957 \text{ kg/m} \\
 P \cdot \sin \alpha &= \frac{164,957}{\sin 10} = \frac{164,957}{0,174} \\
 &= 949,9 \text{ kg} \sim 9499 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Untuk tegangan leleh  $\phi = 0,9$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \phi \cdot f_y \cdot A_g \\
 A_g &= \frac{P_u}{\phi \cdot f_y} = \frac{9499,495}{0,9 \cdot 240} = 43,98 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk tegangan putus  $\phi = 0,75$

$$P_u = \phi \times f_y \times 0,75 \times A_g$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,75 \times f_y \times 0,75}$$

$$= \frac{9499,495}{0,75 \times 250 \times 0,75} = 67,552 \text{ mm}^2$$

$$A_g = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

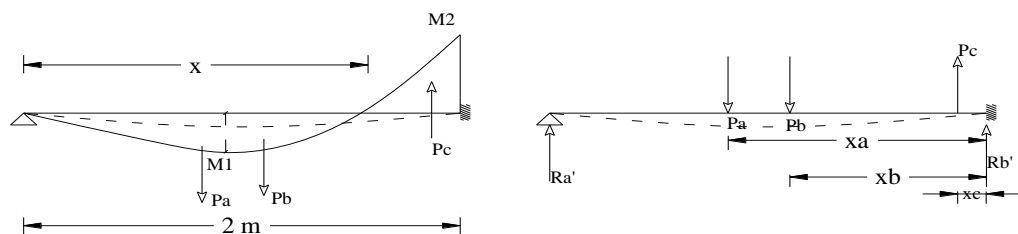
$$d = \sqrt{\frac{A_g}{\frac{1}{4} \times \pi}} = \sqrt{\frac{67,552}{\frac{1}{4} \times 3,14}}$$

$$= 9,28 \text{ mm}$$

Dipakai trekstang dengan  $\phi = 10 \text{ mm}$

### Lendutan arah y : Setelah Pemberian trekstang

Menggunakan metode momen Area



**Gambar.** Perhitungan Lendutan pada gording dengan momen area (arah y)

x (momen=0) : (menggunakan interaksi)

$$0,83 \text{ m} \longrightarrow M1 = 0,819 \text{ kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x \longrightarrow M = 0 \text{ kNm}$$

$$2 \quad m \longrightarrow M2 = -1,102 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x = 1,58 \quad m \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$Pa = \frac{2}{3} \times 0,819 \times 0,83 = 0,45 \quad \text{kNm}^2$$

$$Pb = \frac{2}{3} \times 0,819 \times 0,75 = 0,41 \quad \text{kNm}^2$$

$$Pc = \frac{1}{3} \times -1,102 \times 0,4 = -0,15 \quad \text{kNm}^2$$

$$Xa = 1,167 + \left( \frac{3}{8} \times 0,8 \right) = 1,48 \quad m$$

$$Xb = \left( \frac{5}{8} \times 0,75 \right) + 0,42 = 0,89 \quad m$$

$$Xc = \frac{1}{4} \times 0,42 = 0,11 \quad m$$

$$\Sigma Mb' = 0,0$$

$$\begin{aligned} & \left[ Ra' \times 2 \right] - \left[ 0,45 \times 1,48 \right] - \left[ 0,41 \times 0,89 \right] \\ & + \left[ 0,15 \times 0,11 \right] = 0 \end{aligned}$$

$$Ra' = 0,51 \quad \text{kNm}^2$$

$$M_{\max} = \left[ Ra' \times 0,8 \right] - \left[ Pa \times \frac{3}{8} \times 0,8 \right]$$

$$\begin{aligned}
&= \left[ 0,51 \times 1 \right] - \left[ 0,45 \times \frac{3}{8} \times 1 \right] \\
&= 0,281 \text{ kNm}^3 \\
&= 281275404900,0 \text{ Nmm}^3 \\
\Delta y &= \frac{M_{\max}}{E.I_y} = \frac{281275404900,0}{200000 \times 618000} = 2,28 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta &= \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \\
&= \sqrt{23,82^2 + 2,28^2} \\
&= 23,9 \text{ mm} \longrightarrow < \Delta \text{ ijin} = 25,00 \text{ mm}
\end{aligned}$$

**AMAN**

**Tabel 4.3** Pembagian Beban Kuda-Kuda

Beban	<i>D</i>	<i>Lr</i>	<i>R</i>	<i>W</i>	
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	
				Tekan	Hisap
Tepi	106,62	89,00	66,34	-8,47	-0,83
Tengah	124,60	89,00	132,68	-16,94	-1,65
Puncak	106,62	89,00	66,34	-8,47	-0,83

Kombinasi Pembebanan

- 1)  $1,4 \ D$
- 2)  $1,2 \ D + 0,5 \ Lr$

$$3) \quad 1,2 \ D \quad + \quad 1,6 \ Lr \quad + \quad 0,5 \ W$$

$$4) \quad 1,2 \ D \quad + \quad 1,0 \ W \quad + \quad 0,5 \ R$$

$$5) \quad 1,2 \ D$$

$$6) \quad 0,9 \ D \quad + \quad 1,0 \ W$$

$$7) \quad 0,9 \ D$$

Perhitungan portal baja menggunakan program bantu Staad Pro 2007 v8i

Bentley untuk mendapatkan nilai - nilai momen struktur yang diakibatkan oleh beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban hujan menggunakan

#### 4.4 Perencanaan Balok Castella

Hasil Analisa Struktur

Derengan menggunakan perogram bantu staad pro 2007 Bently didapatkan

kombinasi beban yang terbesar :  $1,2 \ D + 1,6 \ R + 0,5 \ W$  dengan

nilai tegangan geser ( $V_u$ ),momen(MU)

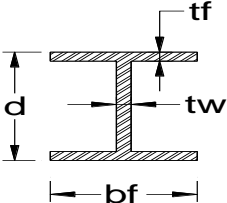
$$V_u = 59312 \ N$$

$$M_u = 311001,77 \ Nm = 311001770 \ Nmm$$

##### 4.4.1 Data Perencanaan

Dicoba menggunakan profil IWF 440x300

(Ir. Rudi gunawan. Tabel Profil Konstruksi Baja)

	$d$	$=$	440	mm
	$bf$	$=$	300	mm
	$tw$	$=$	11	mm
	$tf$	$=$	18	mm

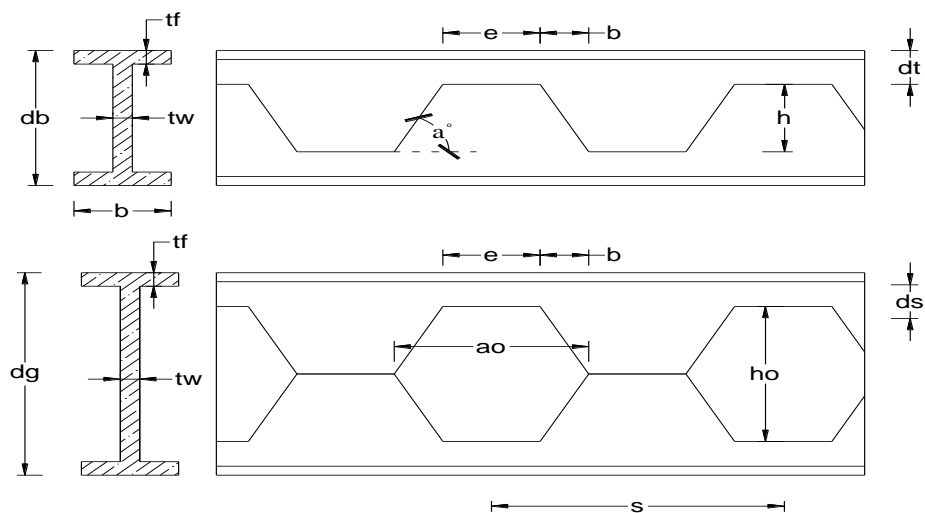
$$\begin{aligned}
 r &= 24 \quad \text{mm} \\
 A &= 15740 \quad \text{mm}^2 \\
 I_x &= 561000000 \quad \text{mm}^4 \\
 I_y &= 81100000 \quad \text{mm}^4 \\
 Z_x &= 2550000 \quad \text{mm}^3 \\
 Z_y &= 541000 \quad \text{mm}^3 \\
 i_x &= 188,8 \quad \text{mm} \\
 i_y &= 71,8 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

#### ▪ Data Material

Mutu Baja : BJ41  $f_y = 250 \text{ Mpa}$

$f_u = 410 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas = 200000 Mpa



**Gambar 4.14** Penamaan Notasi Balok Castella

$$db = 440 \quad \text{mm} \quad \theta = 45^\circ$$

$$bf = 300 \quad \text{mm}$$

$$t_f = 18 \text{ mm}$$

$$t_w = 11 \text{ mm}$$

A. Menentukan modulus penampang minimum balok castella ( $S_g$ ) untuk momen lentur maksimum.

$$\begin{aligned} S_g &= \frac{M_u}{\phi \times f_y} = \frac{311001770}{0,9 \times 250} \\ &= 1382230,1 \text{ mm}^3 \sim 1382,23 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

B. Perbandingan tinggi balok castella dengan tinggi profil baja sesungguhnya  
Diasumsikan kenaikan tinggi balok *castella* mencapai  $\pm 1,5$  kali dari tinggi balok asli.

$$\begin{aligned} K1 &= \frac{d_g}{d_b} \\ 1,5 &= \frac{d_g}{d_b} = \frac{S_g}{S_b} \end{aligned}$$

Modulus penampang balok asli yang diperlukan :

$$\begin{aligned} S_b &= \frac{S_g}{K1} = \frac{1382230,1}{1,5} = 921486,7259 \text{ mm}^3 \\ &= 921,4867259 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Menentukan nilai perbandingan tinggi (K1) yang sebenarnya :

$$K1 = \frac{S_g}{S_b} = \frac{1382,23}{921,4867259} = 1,5$$



C. Menentukan tinggi pemotongan zig - zag (h) :

$$\begin{aligned} h &= db \times \left[ K1 - 1 \right] \\ &= 440 \times \left[ 1,5 - 1 \right] \\ &= 220 \text{ mm} \end{aligned}$$

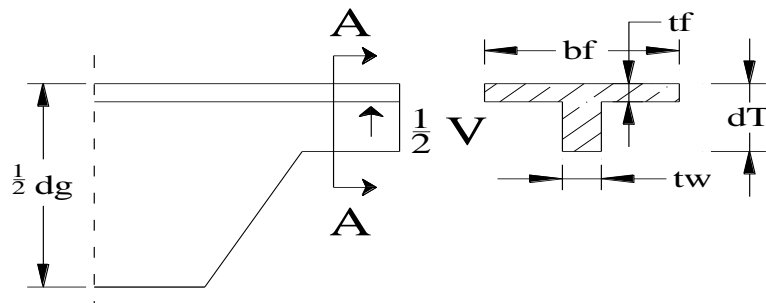
D. Perkiraan tinggi penampang T yang diperlukan .

(Design of Welded Structure, hal 7-15)

$$\begin{aligned} dT &= \frac{V}{2 \times tw \times 0,4 \times fy} \\ dT &= \frac{59312}{2 \times 11 \times 0,4 \times 250} \\ &= 26,960 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &\leq db - 2 \times dT \\ &= 440 - 2 \times 26,96 \\ &= 386,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h = 220 \text{ mm} \leq 386,08 \text{ mm} \quad \text{OK}$$



**Gambar 4.15** Potongan Balok T

E. Tinggi balok castella (Design of Welded Structure, hal 4,7-15)

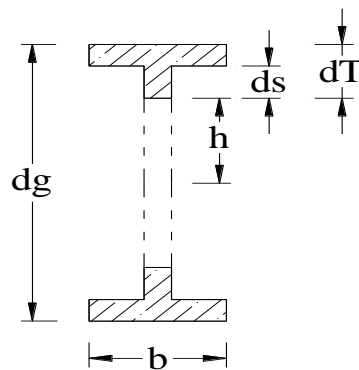
$$\begin{aligned} dg &= db + h \\ &= 440 + 220 \\ &= 660 \text{ mm} \end{aligned}$$

F. Tinggi penampang T (Design of Welded Structure, hal 4,7-15)

$$\begin{aligned} dT &= \frac{dg}{2} - h \\ &= \frac{660}{2} - 220 \\ &= 110,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi tangkai penampang T (Design of Welded Structure, hal 4,7-15)

$$\begin{aligned} ds &= dT - tf \\ &= 110 - 18 \\ &= 92,00 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4.16** Penamaan Notasi Penampang melintang Castella

G. Tegangan lentur tekan yang diijinkan pada plat badan balok Castella :

(Design of Welded Structure, hal 4,7-15)

$$\bar{\sigma} = \left( 1 - \frac{10,434}{C_c^2} \times \left( \frac{h}{tw} \right)^2 \right) \times 0,6 \times f_y$$

Dimana,

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{f_y}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 200000}{250}}$$

$$= 125,714 \text{ Mpa}$$

$$\bar{\sigma} = \left( 1 - \frac{10,434}{125,714^2} \times \left( \frac{220}{11} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 250$$

$$= 110,387 \text{ Mpa}$$

H. Besarnya tegangan lentur yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan

diatas, jika nilai tegangan geser pada bagian lubang dari badan balok (web)

Catella ditentukan dengan rumus (Hal 4.7-16 Castellated Beam)

$$\sigma_v = \frac{4 \left( \frac{\pi \times \theta}{180^\circ} \right)^2}{3 \times \tan \theta} \times \bar{\sigma} \leq 0,4 \times f_y$$

$$= \frac{4 \left( \frac{3,14 \times 45}{180} \right)^2}{3 \times \tan 45^\circ} \times 110,39 \leq 0,4 \times 250$$

$$= 90,698 \text{ Mpa} < 100 \text{ Mpa} \quad \text{AMAN}$$

- I. Merencanakan tegangan geser maksimum sepanjang garis netral badan balok castella, diasumsikan sebagai balok dengan badan utuh :

(Hal 4.7-16 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &\leq \sigma_v \\ \sigma_{max} &= 1,16 \times \frac{95\% \times V}{t_w \times d_g} \\ &= 1,16 \times \frac{95\% \times 59312}{11 \times 660} \\ &= 9,0030 \text{ Mpa} \leq 90,6980 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

- J. Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel tegangan geser ijin untuk balok *castella*, diperoleh rasio :

$$\begin{aligned}K2 &= \frac{\sigma_{max}}{\sigma_v} = \frac{e}{s} \\ K2 &= \frac{9,003006061}{90,69800714} = 0,099264\end{aligned}$$

- K. Menentukan panjang bidang horizontal dan jarak antar panel

$$\begin{aligned}e &\geq \frac{2 \times h \times \tan \theta}{\left[ 1 / K2 \right] - 2} \\ e &\geq \frac{2 \times 220 \times \tan 45}{\left[ 1 / 0,099264 \right] - 2} \\ e &\geq 54,49462029 \text{ mm} \quad \text{diambil} \quad e = 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

Panjang (e) selalu konstan sepanjang bentang jarak interval lubang

*castella* :

$$s = 2 \left[ e + h \times \tan \theta \right]$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \left[ 150 + 220 \times \tan 45 \right] \\
&= 740 \text{ mm}
\end{aligned}$$

**L. Menentukan ukuran dimensi balok castella :**

Luas penampang T balok *castella* :

$$\begin{aligned}
A_T &= A_f + A_s \\
&= \left[ b_f \times t_f \right] + \left[ d_s \times t_w \right] \\
&= \left[ 300 \times 18 \right] + \left[ 92 \times 11 \right] \\
&= 5400 + 1012 \\
&= 6412,00 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Modulus kelembaman penampang T balok *castella* :

(Hal 4.7-17 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}
S_T &= A_f \left( d_s + \frac{t_f}{2} \right) + A_s \times \frac{d_s}{2} \\
&= 5400 \left( 92 + \frac{18}{2} \right) + 1012 \times \frac{92}{2} \\
&= 591952,00 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

Modulus inersia penampang T balok *castella* :

$$\begin{aligned}
I_T &= A_f \left( d_s^2 + d_s \times t_f + \frac{t_f^2}{3} \right) + A_s \times \frac{d_s^2}{3} \\
&= 5400 \left( 92^2 + 92 \times 18 + \frac{18^2}{3} \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + 5400 \times \frac{92^2}{3} \\
 & = 70466400 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Jarak garis berat penampang T dari ujung tangkai balok *castella* :

$$C_s = \frac{ST}{AT} = \frac{591952}{6412} = 92,3194 \text{ mm}$$

Momen insersia tangkai penampang T :

$$\begin{aligned}
 I_t &= IT - C_s \times ZT \\
 &= 70466400 - 92,3194 \times 591952 \\
 &= 15817745,867 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus tahanan tangkai penampang T pada ujung tangkai :

$$S_s = \frac{I_t}{C_s} = \frac{15817745,87}{92,31940112} = 171337,180 \text{ mm}^3$$

Jarak antara garis berat penampang T atas dan bawah :

$$\begin{aligned}
 d &= 2 \times \left[ h + C_s \right] \\
 &= 2 \times \left[ 220 + 92,3194 \right] \\
 &= 624,639 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen inersia balok *castella* : (Hal 4.7-17 Castellated Beam)

$$I_g = 2 \times I_t + \frac{AT \times d^2}{2}$$

$$\begin{aligned}
&= 2 \times 15817745,9 + \frac{6412 \times 624,6388022^2}{2} \\
&= 1282532160 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Modulus tahanan balok *castella* :

$$\begin{aligned}
S_g &= \frac{2 \times I_g}{d_g} \\
&= \frac{2 \times 1282532160}{660} \\
&= 3886461,1 \text{ mm}^3
\end{aligned}$$

Kontrol geser pelat badan pada tumpuan balok

$$\begin{aligned}
V_n &= \phi \times 0,6 \times f_y \times A_w \\
&= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times (d_g - 2 t_f) \times t_w \\
&= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times [660 - 36] \times 11,0 \\
&= 926640,00 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_u &< V_n \\
59312,00 \text{ N} &< 926640,00 \text{ N} \quad \quad \quad \textbf{OK}
\end{aligned}$$

Kontrol geser pelat badan pada daerah berlubang

$$\begin{aligned}
V_n &= \phi \times 0,6 \times f_y \times A_w \\
&= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times (d_t - t_f) \times t_w \\
&= 0,9 \times 0,6 \times 250 \times [110 - 18] \times 11,0 \\
&= 136620,00 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< V_n \\
 59312,00 \text{ N} &< 136620,00 \text{ N} \quad \quad \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan komponen struktur *Stiffener*

(SNI 03-1729-2002, pasal 8.10)

$$\begin{aligned}
 k &= t_f + r \\
 &= 18 + 24 = 42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$N$  = dimensi longitudinal pelat perletakan, mm

1. Leleh lokal pada web

Daerah lapangan ( jarak beban terpusat terhadap ujung balok  $> d$  )

$$\begin{aligned}
 R_b &= \left[ 5 k + N \right] \times f_y \times t_w \\
 &= \left[ 5 \cdot 42 + 400 \right] \times 250 \times 11,0 \\
 &= 1677500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< R_b \\
 59312 \text{ N} &< 1677500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Daerah tumpuan ( jarak beban terpusat terhadap ujung balok  $< d$  )

$$\begin{aligned}
 R_b &= \left[ 5 k + N \right] \times f_y \times t_w \\
 &= \left[ 2,5 \cdot 42 + 400 \right] \times 250 \times 11,0 \\
 &= 1388750 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< R_b \\
 59312 \text{ N} &< 1388750 \text{ N} \quad \quad \quad \mathbf{KOMPAK}
 \end{aligned}$$



2. Lentur lokal pada flens

$$\begin{aligned}
 R_b &= 6,25 \times t_f^2 \times f_y \\
 &= 6,25 \times 324 \times 250 \\
 &= 506250 \text{ N} \\
 V_u &< R_b \\
 59312 \text{ N} &< 506250,00 \text{ N} \quad \textbf{KOMPAK}
 \end{aligned}$$

3. Tekuk torsi lateral

Perhitungan tekuk torsi lateral berdasarkan SNI 1729:2015 halaman 51-52.

Panjang komponen struktur utama

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= 1,76 \times 71,80 \times \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 &= 3574,23 \text{ mm} \\
 &= 3,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Karena balok castella direncanakan dalam kondisi penampang kompak maka panjang jarak pengaku lateral pada balok castella yang direncanakan yaitu  $L < L_p$  3,6 m. Pada balok castella pengaku lateral diletakkan di badan yang tidak berlubang.

Pemeriksaan bagian T yang merupakan bagian yang mengalami gaya tekan

aksial : (Hal 4.7-6 *Castellated Beam*)

$$\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{3000}{\sqrt{f_y}} \qquad \frac{b_w}{t_w} \leq \frac{4000}{\sqrt{f_y}}$$

$$\begin{aligned} b_f &= 0,5 \times b \\ &= 0,5 \times 150 = 75,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{75}{18} &= 4,16667 & \frac{3000}{\sqrt{250}} &= 189,74 \\ 4,16667 &\leq 189,74 & & \text{KOMPAK} \end{aligned}$$

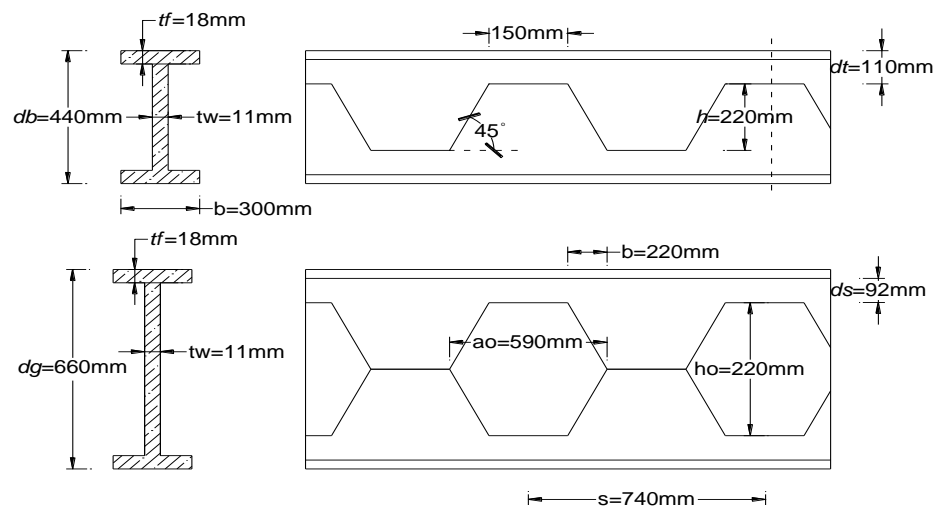
$$\begin{aligned} b_w &= d_s \\ &= 92 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{92}{11} &= 8,36364 & \frac{4000}{\sqrt{250}} &= 252,98 \\ 8,36364 &\leq 252,98 & & \text{KOMPAK} \end{aligned}$$

**M. Kontrol penampang balok *castella* :**

Dimensi *Castella* :

$L$	$=$	20309	mm	$ds$	$=$	92	mm
$db$	$=$	440	mm	$ao$	$=$	590	mm
$bf$	$=$	300	mm	$e$	$=$	150	mm
$tw$	$=$	11	mm	$s$	$=$	740	mm
$tf$	$=$	18	mm	$dg$	$=$	660	mm
$\theta$	$=$	45 °		$dt$	$=$	110,0	mm
$h$	$=$	220	mm	$b$	$=$	220	mm
$ho$	$=$	440	mm				



**Gambar 4.17** Dimensi *Castella*

Kuat nominal lentur penampang dengan pengaruh tekuk lokal :

$$\lambda_f = \frac{bf}{tf} = \frac{300}{18} = 16,6667$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 10,748$$

$$\lambda_f < \lambda_{pf}$$

$$8,333333 < 10,75 \quad \text{Kompak}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{tw} = \frac{440}{11} = 40,000$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 106,349$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw}$$

$$40,0 < 106,3 \quad \text{Kompak}$$

N. Tegangan lentur yang diijinkan penampang *castella* :

(Hal 4.7-18 Castellated Beam)

$$\begin{aligned} C_c &= \sqrt{\frac{2 \times \pi^2 \times E}{f_y}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \times 3,14^2 \times 200000}{250}} \\ &= 125,600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{\sigma} &= \left( 1 - \frac{2,609}{C_c^2} \times \left( \frac{h}{tw} \right)^2 \right) \times 0,6 \times f_y \\ &= \left( 1 - \frac{2,609}{15775,4} \times \left( \frac{220}{11} \right)^2 \right) \times 0,6 \times 250 \\ &= 140,0769301 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan lentur sekunder

(Hal 4.7-17 Castellated Beam)

$$\begin{aligned}\sigma_T &= \frac{V_u \times e}{4 \times S_s} = \frac{59312 \times 150}{4 \times 171337,180} \\ &= 12,981 \text{ Mpa} \\ 12,981 \text{ Mpa} &\leq 140,077 \text{ Mpa} \quad \text{OK}\end{aligned}$$

Tegangan lentur primer ditengah bentang penampang *castella*.

Tegangan tarik dan desak.

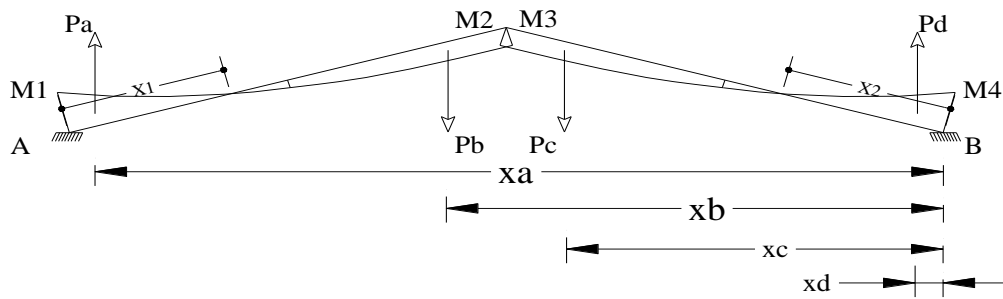
$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{F}{A_T} = \frac{M_u}{d \times A_T} \\ &= \frac{311001770}{624,639 \times 6412} \\ &= 77,650 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Kontrol tegangan total

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{total}} &= \sigma_T + \sigma_b \leq \sigma \\ &= 12,98 + 77,64981 \leq 140,077 \\ &= 90,631 \text{ Mpa} \leq 140,077 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

**Kontrol lendutan :**

$$\begin{aligned}f_{ijin} &= \frac{1}{240} L \quad (\text{sumber : SNI-03-1729-2002}) \\ &= \frac{1}{240} 40000 \\ &= 166,667 \text{ mm}\end{aligned}$$



**Gambar 4.21** Perhitungan lendutan balok dengan metode momen area

$$x_1 \quad \longrightarrow \quad M \quad = \quad 0 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x_2 \quad \longrightarrow \quad M \quad = \quad 0 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$0 \quad \text{m} \quad \longrightarrow \quad M_1 \quad = \quad -311,002 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$20,31 \quad \text{m} \quad \longrightarrow \quad M_2 \quad = \quad 198,65 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$0 \quad \text{m} \quad \longrightarrow \quad M_3 \quad = \quad 198,38 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$20,31 \quad \text{m} \quad \longrightarrow \quad M_4 \quad = \quad -311,002 \quad \text{kNm} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x_1 \quad = \quad 6,57 \quad \text{m} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$x_2 \quad = \quad 6,64 \quad \text{m} \quad (\text{Stadd Pro V8i})$$

$$P_a \quad = \quad \frac{1}{3} \quad \times \quad 311,002 \quad \times \quad 6,57 \quad = \quad 681,09 \quad \text{kNm}^2$$

$$P_b \quad = \quad \frac{2}{3} \quad \times \quad 198,65 \quad \times \quad 13,7 \quad = \quad 1819,44 \quad \text{kNm}^2$$

$$P_c \quad = \quad \frac{2}{3} \quad \times \quad 198,38 \quad \times \quad 13,7 \quad = \quad 1807,71 \quad \text{kNm}^2$$

$$P_d \quad = \quad \frac{1}{3} \quad \times \quad 311,002 \quad \times \quad 6,64 \quad = \quad 688,35 \quad \text{kNm}^2$$

Jarak horizontal terhadap titik B :

$$X_a = 40 - \left( \frac{1}{4} \times 6,6 \right) \cos 10 = 41,38 \text{ m}$$

$$X_b = 20 + \left( \frac{3}{8} \times 13,7 \right) \cos 10 = 15,68 \text{ m}$$

$$X_c = 20 - \left( \frac{3}{8} \times 13,7 \right) \cos 10 = 15,70 \text{ m}$$

$$X_d = \left( \frac{1}{4} \times 6,64 \right) \cos 10 = -1,39 \text{ m}$$

$$\sum M_{b'} = 0$$

$$\begin{aligned} & \left[ R_{a'} \times 40 \right] + \left[ P_a \times 41,38 \right] - \left[ P_b \times 15,68 \right] \\ & - \left[ P_c \times 15,70 \right] + \left[ P_d \times -1,39 \right] = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left[ R_{a'} \times 40 \right] + \left[ 681,09 \times 41,38 \right] - \left[ 1819,44 \times 15,68 \right] \\ & - \left[ 1807,71 \times 15,70 \right] + \left[ 688,35 \times -1,39 \right] = 0 \end{aligned}$$

$$R_{a'} = 741,99 \text{ kNm}^2$$

Jarak horizontal terhadap momen maksimal

( pada tengah bentang = 20 m )

$$X_{a'} = 20 - \left( \frac{1}{4} \times 6,57 \right) \cos 10 = 18,62 \text{ m}$$

$$X_{b'} = \left( \frac{3}{8} \times 3,58 \right) \cos 10 = -1,13 \text{ m}$$

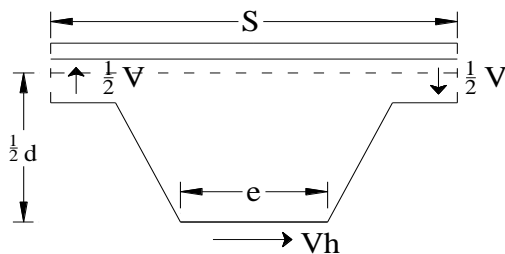
$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= \left[ R_{a'} \times 20 \right] + P_a \times X_{a'} - P_b \times X_{b'} \\
 &= \left[ 741,99 \times 20 \right] + 681,09 \times 18,62 - \\
 &\quad 1819,44 \times -1,13 \\
 &= 29574,92 \text{ kNm}^3 \\
 &= 29574919957279600,0 \text{ Nmm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta y &= \frac{M_{\max}}{E \cdot I_g} = \frac{29574919957279600,0}{200000 \times 1282532160} \\
 &= 115,3 \text{ mm} < \Delta \text{ ijin} = 166,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**AMAN**

**persyaratan ukuran las**

(SNI 1729:2015, hal 116)



$$\begin{aligned}
 V_h &= V_u \times \frac{s}{d} \\
 &= 59312 \times \frac{740}{625} \\
 &= 70266,02 \text{ N}
 \end{aligned}$$



$$\text{tebal pelat yang disambung (} tw \text{)} = 11 \text{ mm}$$

ukuran minimum las sudut (a)

$$6 < 11 < 13 = 5 \text{ mm}$$

$$\text{ukuran maksimum las sudut} = \text{tebal pelat} - 2 \text{ mm}$$

$$= 11 - 2 = 9,0 \text{ mm}$$

$$\text{diambil las sudut (a)} = 5 \text{ mm}$$

Throat Efektif untuk las sudut

$$te = 0,707 \times a$$

$$= 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm}$$

Panjang Minimum Las sudut

$$l_{min} = 4 \times a$$

$$= 4 \times 5 = 20 \text{ mm}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan leleh las} \quad F_{exx} = 354 \text{ Mpa}$$

Tegangan Nominal dari logam las

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,6 \quad F_{exx} \left[ 1 + 0,5 \sin^{1.5} \theta \right] \\ &= 0,6 \quad 354 \left[ 1 + 0,5 \sin^{1.5} 45 \right] \\ &= 275,5467 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat rencana Las sudut

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times F_{nw} \times te \\ &= 0,75 \times 275,547 \times 3,535 \\ &= 730,5433 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan  $L_w$

$$L_w = \frac{V_h}{\phi R_{nw}} = \frac{70266,016}{730,5433} = 96,18323562 \text{ mm}$$

$$L_w > l_{min}$$

$$96,18 \text{ mm} > 20,00 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang las yang digunakan} = 96,18 \text{ mm}$$

#### 4.5 Perencanaan Kolom Profil WF (Wide Flange)

Derengan menggunakan perogram bantu staad pro 2007 Bentley didapatkan nilai momen ( $M_u$ ), gaya aksial ( $P_r$ ), tegangan geser ( $V_u$ )

$$M_u = 311001,72 \text{ Nm} \sim 311001720 \text{ Nmm}$$

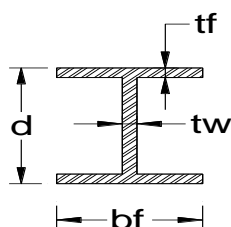
$$P_r = 79535 \text{ N}$$

$$V_u = 60360 \text{ N}$$

##### 4.5.1 Data Perencanaan

Dicoba menggunakan profil WF 440x300

(Produk dari PT. Gunung Garuda)



$$d = 440 \text{ mm}$$

$$bf = 300 \text{ mm}$$

$$tw = 11 \text{ mm}$$

$$tf = 18 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$A = 15740 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 i_x &= 18,88 \text{ cm} \\
 i_y &= 7,18 \text{ cm} \\
 I_x &= 561000000 \text{ mm}^4 \\
 I_y &= 81100000 \text{ mm}^4 \\
 Z_x &= 2550000 \text{ mm}^3 \\
 Z_y &= 541000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Mutu Baja : BJ41

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus Elastisitas} = 200000 \text{ MPa}$$

#### 4.5.2 Aksi desak yang diakibatkan oleh gaya tekan

Periksa kelangsingan penampang (SNI 1729:2015 tabel B4.1a)

$$h = d - 2 t_f = 440 - 36 = 404 \text{ mm}$$

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h / t_w}} = \frac{4}{\sqrt{36,72727}} = 0,66003$$

$$\lambda_f = \frac{b_f}{t_f} = \frac{300}{18} = 8,33333$$

$$\lambda_{pf} = 0,6 \sqrt{\frac{K_c \cdot E}{f_y}} = 0,64 \sqrt{\frac{0,66 \cdot 200000}{250}} = 14,7064$$

$$\lambda_f < \lambda_{pf}$$

$$8,33333 < 14,71 \text{ Kompak}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{440 - 2 \text{ tf}}{11} = 36,727$$

$$\lambda_{pw} = 1,49 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 42,1436$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw}$$

$$36,7 < 42,144 \quad \text{Kompak}$$

Rasio kelangsingan efektif

$$\frac{K \times L}{r} \quad (\text{SNI 1729:2015, hal 35})$$

$$\frac{1,0 \times 8530}{24} = 355,4167$$

Dimana :

$$\text{faktor panjang efektif (K)} = 1,0 \quad (\text{SNI 1729:2015, hal 237})$$

$$L = \text{Panjang komponen struktur tekan} \quad (\text{mm})$$

$$r = \text{Jari-jari girasi komponen struktur} \quad (\text{mm})$$

Kekuatan tekan nominal  $P_n$ ,

$$P_n = F_{cr} \times A_g \quad (\text{SNI 1729:2015, hal 35})$$

Dimana :

$$F_{cr} = \text{tegangan kritis} \quad (\text{MPa})$$

$$A_g = \text{luas bruto penampang melintang} \quad (\text{mm}^2)$$

Tegangan kritis  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 133,219$$

$$\frac{K x L}{r} > 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$355,417 > 133,219$$

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

$$= 0,877 \left( \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K x L}{r_y} \right)^2} \right)$$

$$= 0,877 \left( \frac{3,14^2 \cdot 200000}{126321,0069} \right) = 13,6903 \text{ Mpa}$$

Dimana :

$$F_e = \text{tegangan tekuk kritis} \quad (\text{Mpa})$$

Kekuatan tekan nominal Pn,

$$P_n = F_{cr} \times A_g$$

$$= 13,6903 \times 15740$$

$$= 215485,491 \text{ N}$$

Kukuatan Tekan Desain Pc

$$P_c = \phi \times P_n$$

$$= 0,9 \times 215485,49$$

$$= 193936,942 \text{ N}$$

#### 4.5.3 Aksi lentur yang diakibatkan oleh momen

Periksa kelangsingan penampang

$$\lambda_f = \frac{b_f}{t_f} = \frac{300}{18} = 16,6667$$

$$\lambda_{pf} = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,00 \sqrt{\frac{200000}{250}} = 28,2843$$

$$\lambda_f < \lambda_{pf}$$

$$16,6667 < 28,28 \quad \text{Kompak}$$

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{440}{11} = 40$$

$$\lambda_{pw} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,542$$

$$\lambda_w < \lambda_{pw}$$

$$40 < 108,5 \quad \text{Kompak}$$

Tahanan momen nominal (Mn) untuk penampang kompak

$$\begin{aligned} M_n &= M_p = f_y \times Z_x \\ &= 250 \times 2550000 \\ &= 637500000 \text{ Mpa} = 65006,9085 \text{ Kg.cm} \end{aligned}$$

Kekuatan Lentur Desain, Mc

$$\begin{aligned} M_c &= \phi_c \times M_n \\ &= 0,9 \times 637500000 \\ &= 573750000 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kontrol desain yang disebabkan oleh gaya aksial dan Lentur

(SNI 1729:2015, hal 79)

$$\frac{Pr}{Pc} = \frac{79535,0}{193937} = 0,4101 < 0,2 \quad \text{OK}$$

$$\frac{Pr}{2 Pc} + \left( \frac{Mrx}{Mcx} + \frac{Mry}{Mcy} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{79535,0}{387873,8843} + \left( \frac{311001720}{573750000} + \frac{0}{Mcy} \right) \leq 1,0$$

$$0,2051 + 0,542051 \leq 1,0$$

$$0,747105 \leq 1,0 \quad \text{AMAN}$$

Syarat :

$$\phi_c Mn \geq Mu$$

$$0,85 \times 637500000 \geq 311001720$$

$$541875000 \text{ Mpa} \geq 311001720 \text{ Mpa} \quad \text{AMAN}$$

#### 4.6 Perhitungan Sambungan

Data perencanaan

- Profil Baja Balok Castella

$$\text{Tinggi Balok (d)} = 660 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Balok (bf)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal web (tw)} = 11 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Flange (tf)} = 18 \text{ mm}$$

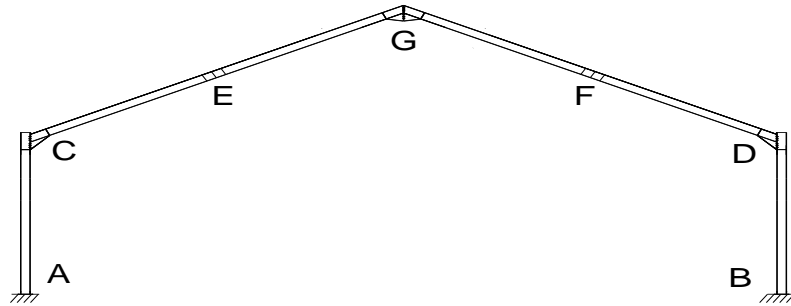
- Profil Baja Kolom WF

$$\text{Tinggi Balok (d)} = 440 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar Balok (bf)} = 300 \text{ mm}$$

Tebal web (tw) = 11 mm

Tebal Flange (tf) = 18 mm



**Gambar 4.19** Penamaan sambungan

Sambungan G (Rafter ujung)

Sambungan E = Sambungan F (Rafter Balok - Balok)

Sambungan C = Sambungan D (Rafter kolom Balok)

Sambungan A = Sambungan B (Base Plate)

#### 4.6.1 Sambungan Rafter ujung (Sambungan G)

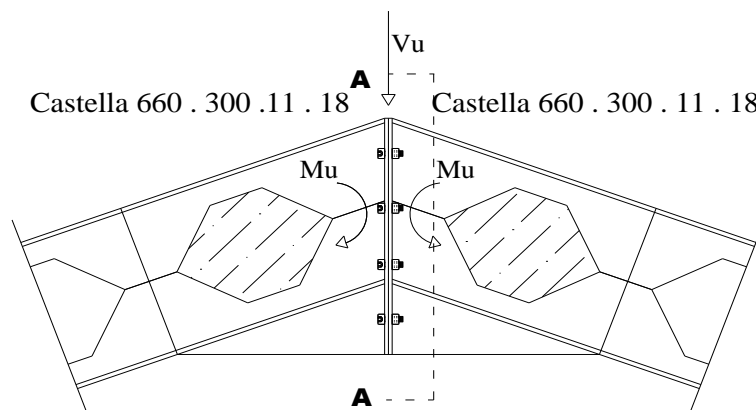
$$\begin{aligned} M_n \text{ balok} &= \sigma \times S_g \\ &= 140,077 \times 3886461,09 \\ &= 544403538,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n \text{ balok} &= 0,6 \times f_y \times A_w \\ &= 0,6 \times 250 \times \left[ ds \times tw \right] \\ &= 0,6 \times 250 \times \left[ 92 \times 11 \right] \\ &= 151800,00 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 410 \text{ Mpa}$$





**Gambar 4.20** Skema Rafter Balok - Balok

**a) Sambungan Baut**

dimensi lubang baut = 28 mm (SNI 1729:2015, hal 126)

kekuatan nominal pengecang baut A307 (SNI 1729:2015, hal 125)

$F_{nt}$  (Kekuatan tarik nominal) = 310 Mpa

$F_{nv}$  (Kekuatan geser nominal) = 188 Mpa

Tegangan tarik pelat = 240 MPa

$$\begin{aligned}
 A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 28^2 \\
 &= 615,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kekuatan Tarik dan Geser dari baut : (SNI 1729:2015, hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \times A_b \\
 &= 310 \times 615,44 \\
 &= 190786,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\emptyset R_n &= 0,75 \times 190786,4 \\ &= 143089,8 \text{ N}\end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned}R_n &= f_{nv} \times A_b \\ &= 188 \times 615,440 \\ &= 115702,72 \text{ N} \\ \emptyset R_n &= 0,75 \times 115702,72 \\ &= 86777,04 \text{ N}\end{aligned}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

diameter baut : 28 mm = 30 mm

tebal pelat :  $t = 18 \text{ mm}$   $t_f \leq t$

$$\begin{aligned}l_c &= \text{Jarak bersih baut ke tepi} \\ &= 50 - 1/2 d \\ &= 36 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang - lubang baut : (SNI 1729:2015, hal 132)

$$\begin{aligned}\emptyset R_n &= 1,2 \times l_c \times t \times f_u \\ &= 1,2 \times 36 \times 18 \times 410 \\ &= 318816,00 \text{ N} \leq 2,4 \times d \times t \times f_u \\ &= 318816,00 \text{ N} \leq 2,4 \times 28 \times 18 \times 410 \\ &= 318816,00 \text{ N} \leq 495936 \text{ N} \quad \textbf{OK}\end{aligned}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan :

$$n = \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{151800}{0,75 \times 86777,04} = 2,33241 \sim 5 \text{ baut}$$

diambil = 5 Buah baut dalam baris

Kontrol kekuatan geser :

$$\begin{aligned} Vu &\leq \phi Rn \times n \\ 151800 \text{ N} &\leq 86777,04 \times 10 \\ 151800 \text{ N} &< 867770,4 \text{ N} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\begin{aligned} \phi Rn &= \phi \times f_{nt} \times Ab \\ f_{rv} &= \frac{Vu}{n \times Ab} = \frac{151800}{10 \times 615,440} = 24,665 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{nt} &= 1,3 \times f_{nt} - \frac{f_{nt}}{\phi \times f_{nv}} \times f_{rv} \leq f_{nt} \\ &= 1,3 \times 310 - \frac{310}{0,75 \times 188} \times 24,665 \\ &= 348,771 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa} \quad \text{No} \end{aligned}$$

Catatan bahwa bila tegangan yang diperlukan ( $f_{rv}$ ) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f_{rv} \leq 30\% f_{nv}$$

$$24,665 \text{ MPa} \leq 30\% \cdot 188$$

$$24,665 \text{ MPa} \leq 56,4 \text{ MPa}$$

maka, efek kombinasi tarik dan geser tidak perlu diperiksa

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\text{diameter baut : } 20 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$$

$$\text{tebal pelat : } t = 18 \text{ mm}$$

Jarak maksimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$= 12 t \quad \text{Atau} \quad 150 \text{ mm}$$

$$= 12 \cdot 18 \quad \text{Atau} \quad 150 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm} \quad \text{Atau} \quad 150 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak lubang baut ke tepi diambil} = 100 \text{ mm}$$

Jarak minimum antar baut

$$= 3 d$$

$$= 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm}$$

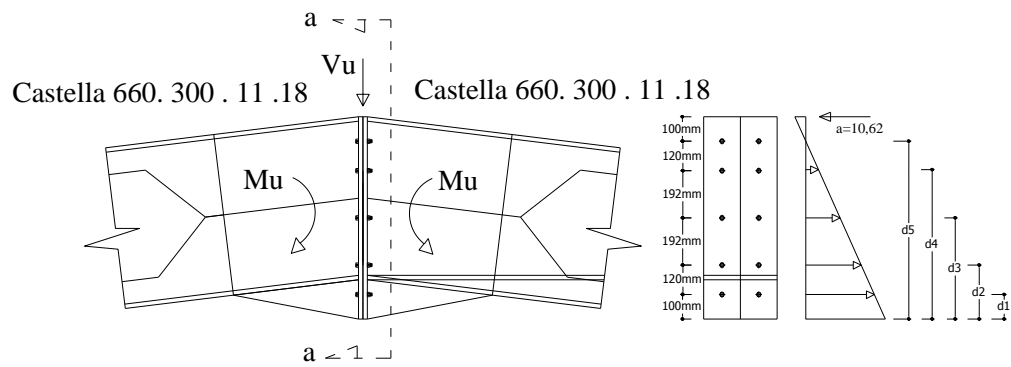
Jarak maksimum antar baut

$$14 t \quad \text{atau} \quad 180 \text{ mm}$$

$$14 \cdot 18 \quad \text{atau} \quad 180 \text{ mm}$$

$$252 \text{ mm} \quad \text{atau} \quad 180 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak dari baut ke baut} = 120 \text{ mm}$$



**Gambar 4.21 Daigram tegangan Rafter Balok - Balok**

Jarak baut ( $d_i$ )

$$\begin{aligned} d1 &= 100 \text{ mm} & d3 &= 412 \text{ mm} \\ d2 &= 220 \text{ mm} & d4 &= 604 \text{ mm} \\ & & d5 &= 724 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_i &= \left( d1 + d2 + d3 + d4 + d5 \right) \\ &= \left( 100 + 220 + 412 + 604 + 724 \right) \\ &= 2060 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \text{ Mn} &= \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i \\ a &= \frac{0,75 \times f_{nt} \times n1 \times n2 \times Ab}{f_y \times b} \\ &= \frac{0,75 \times 310 \times 2 \times 4 \times 615,44}{250 \times 220} \\ &= 20,8131 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\sum_{i=1}^n T \cdot d_i = 0,75 \times f_{nt} \times n_l \times A_b \times d_i$$

$$= 0,75 \times 310 \times 2 \times 615,440 \times 2060$$

$$= 589529976 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = \frac{0,9 \times 250 \times 433,1835 \times 660}{2} + 589529976$$

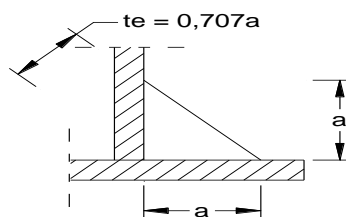
$$= 621693854 \text{ Nmm}$$

Kontrol Momen

$$\phi M_n \text{ baut} \geq M_n \text{ balok}$$

$$621693854 \text{ Nmm} > 544403539 \text{ Nmm} \quad \text{AMAN}$$

#### b) Las Sudut



persyaratan ukuran las (SNI 1729:2015, hal 116)

tebal pelat minimum yang disambung = 18 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$18 > 19 = 8 \text{ mm}$$

ukuran maksimum las sudut = tebal pelat - 2 mm

$$= 18 - 2 = 16 \text{ mm}$$

diambil las sudut (a) = 8 mm

Throat Efektif untuk las sudut

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 8 = 5,656 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang Minimum Las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 8 = 32 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan leleh las} \quad F_{exx} = 354 \text{ Mpa}$$

Tegangan Nominal dari logam las

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,6 \quad F_{exx} \left[ 1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta \right] \\ &= 0,6 \quad 354 \left[ 1 + 0,5 \sin^{1,5} 45 \right] \\ &= 275,5467 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat rencana Las sudut

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times F_{nw} \times te \\ &= 0,75 \times 275,547 \times 5,656 \\ &= 1168,8692 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan  $L_w$

$$\begin{aligned} L_w &= \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{151800,000}{1168,8692} = 129,8691 \text{ mm} \\ L_w &> l_{min} \\ 129,87 \text{ mm} &> 32,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang las yang digunakan} = 129,87 \text{ mm}$$

**c) Pelat Ujung (End Plate)**

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$C_a = 1,36 \quad (\text{AISC Tabel 10-1})$$

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 300 + 25,4 = 325,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{300}{325,4}} = 0,921942$$

$$d_b = \text{Dimensi baut} = 28 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} p_f &= \text{jarak pusat baut ke tepi} - t_f \\ &= 120 - 18 = 102 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_e &= p_f - \frac{d_b}{4} - \text{Lebar kaki las} \\ &= 102 - \frac{28}{4} - 8 = 87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas sayap pada balok tarik ( $A_f$ )

$$\begin{aligned} A_f &= b_f \times t_f \\ &= 300 \times 18 = 5400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bersih web ( $A_w$ )

$$\begin{aligned} A_w &= (h - 2 t_f) \times t_w \\ &= \left[ 660 - 2 \times 18 \right] \times 11 = 6864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\alpha_m &= C_a \times C_b \left( \frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left( \frac{pe}{db} \right)^{1/4} \\
&= 1,36 \times 0,921942 \left( \frac{5400}{6864} \right)^{1/3} \times \left( \frac{87}{28} \right)^{1/4} \\
&= 0,25541
\end{aligned}$$

Gaya terfaktor pada sayap ( $P_{uf}$ )

$$\begin{aligned}
P_{uf} &= \frac{Mu}{h - t_f} \\
&= \frac{544403539}{660 - 18} \\
&= 847980,5897 \text{ N}
\end{aligned}$$

Momen Pelat Ujung ( $M_{eu}$ )

$$\begin{aligned}
M_{eu} &= \alpha_m \times P_{uf} \times \frac{pe}{4} \\
&= 0,25541 \times 847980,5897 \times \frac{87}{4} \\
&= 4710686,986 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Tebal Pelat Ujung Minimum ( $t_{\min}$ )

$$\begin{aligned}
t_{\min} &= \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}} \\
&= \sqrt{\frac{4 \times 4710686,986}{0,9 \times 250 \times 325,40}} \\
&= 16,0425 \text{ mm} \sim 18 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan E adalah = 18 mm

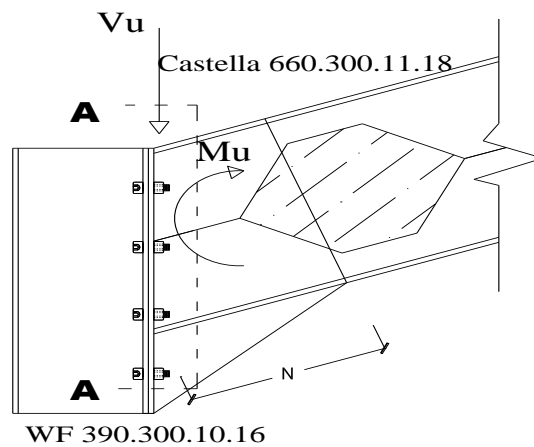
#### 4.6.2 Sambungan Rafter Balok kolom (Sambungan C dan D)

$$\begin{aligned} M_n \text{ balok} &= \sigma \times S_g \\ &= 140,077 \times 3886461 \\ &= 544403538,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$V_n = 151800,00 \text{ N}$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 410 \text{ Mpa}$$



**Gambar 4.22** Skema Rafter Balok - Kolom

##### a) Sambungan Baut

$$\text{dimensi baut} = 28 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2015, hal 128})$$

$$\text{kekuatan nominal pengecang baut A307} \quad (\text{SNI 1729:2015, hal 125})$$

$$F_{nt} \text{ (Kekuatan tarik nominal)} = 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} \text{ (Kekuatan geser nominal)} = 188 \text{ Mpa}$$

Luas Baut ( $A_b$ )

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 28^2 \\ &= 615,440 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekuatan Tarik dan Geser dari baut : (SNI 1729:2015, hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nt} \times A_b \\ &= 310 \times 615,44 \\ &= 190786,4 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 190786,4 \\ &= 143089,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned} R_n &= \mu \times F_{nv} \times A_b \\ &= 188 \times 615,44 \\ &= 115702,72 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 115702,7 \\ &= 86777 \text{ N} \end{aligned}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\text{diameter baut : } 28 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{tebal pelat : } t = 18 \text{ mm} \quad t_f \leq t$$

$$\begin{aligned} l_c &= \text{Jarak bersih baut ke tepi} \\ &= 50 - \frac{1}{2} d = 36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat nominal tumpu pada lubang - lubang baut :

(SNI 1729:2015, hal 132)

$$\begin{aligned}
 Rn &= 1,2 \times lc \times t \times fu \\
 &= 1,2 \times 36 \times 18 \times 410 \\
 &= 318816,00 \text{ N} \leq 2,4 \times d \times t \times fu \\
 &= 318816,00 \text{ N} \leq 2,4 \times 28 \times 18 \times 410 \\
 &= 318816,00 \text{ N} \leq 495936 \text{ N} \quad \textbf{OK}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{Vu}{\phi Rn} = \frac{151800}{0,75 \times 86777,04} \\
 &= 2,33241 \sim 5 \text{ baut}
 \end{aligned}$$

Diambil = 5 buah baut dalam baris

Kontrol kekuatan geser :

$$\begin{aligned}
 Vu &\leq \phi Rn \times n \\
 151800 \text{ N} &\leq 86777,04 \times 10 \\
 151800 \text{ N} &< 867770,4 \text{ N} \quad \textbf{OK}
 \end{aligned}$$

Kombinasi terhadap tarik dan geser :

$$\begin{aligned}
 \phi Rn &= \phi \times fnt \times Ab \\
 f_{rv} &= \frac{Vu}{n \times Ab} = \frac{151800}{10 \times 615,440} = 24,665 \text{ MPa} \\
 f_{nt} &= 1,3 \times fnt - \frac{fnt}{\phi \times f_{nv}} \times f_{rv} \leq fnt
 \end{aligned}$$

$$= 1,3 \times 310 - \frac{310}{0,75 \times 188} \times 24,67 \leq 310$$

$$= 348,771 \text{ MPa} > 310 \text{ MPa} \quad \text{No}$$

Catatan bahwa bila tegangan yang diperlukan ( $f_{rv}$ ) kurang dari atau sama dengan 30 % dari tegangan yang tersedia, maka efek kombinasi tegangan tidak perlu diperiksa.

$$f_{rv} \leq 30\% f_{nv}$$

$$24,665 \text{ MPa} \leq 30\% \times 188$$

$$24,665 \text{ MPa} \leq 56,4 \text{ MPa}$$

maka, efek kombinasi tarik dan geser tidak perlu diperiksa

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\text{diameter baut : } 28 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{tebal pelat : } t = 18 \text{ mm}$$

Jarak maksimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$S1 = 12 t \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 12 \times 18 \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}$$

$$\text{jarak pusat lubang ke tepi diambil} = 100 \text{ mm}$$

Jarak minimum antar baut

$$= 3 d$$

$$= 3 \times 28 = 84 \text{ mm}$$

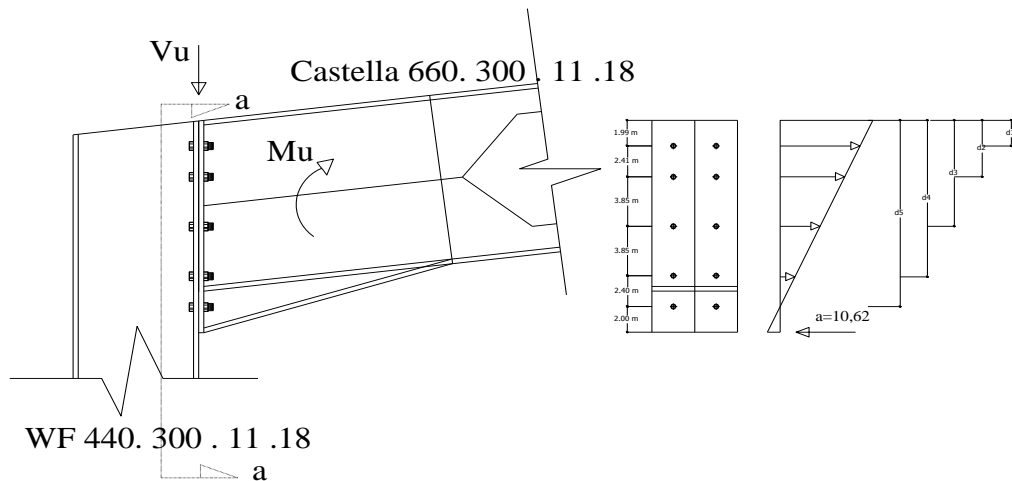
Jarak maksimum antar baut

$$14 t \text{ atau } 180 \text{ mm}$$

14 18 atau 180 mm

252 mm atau 180 mm

Jarak dari baut ke baut = 120 mm



**Gambar 4.23** Diagram Tegangan Rafter Balok - Kolom

Jarak baut ( $d_i$ )

$d_1 = 100 \text{ mm}$

$d_3 = 412 \text{ mm}$

$d_2 = 220 \text{ mm}$

$d_4 = 604 \text{ mm}$

$d_5 = 724 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 d_i &= \left[ d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 \right] \\
 &= \left[ 100 + 220 + 412 + 604 + 724 \right] \\
 &= 2060 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = \frac{0,9 \times f_y \times a^2 \times b}{2} + \sum_{i=1}^n T \cdot d_i$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{0,75 \times f_{nt} \times n1 \times n2 \times A_b}{f_y \times b} \\
 &= \frac{0,75 \times 310 \times 2 \times 4 \times 615,440}{250 \times 220} \\
 &= 20,8131 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n T \cdot d_i &= 0,75 \times f_{nt} \times n1 \times A_b \times d_i \\
 &= 0,75 \times 310 \times 2 \times 615,44 \times 2060 \\
 &= 589529976 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \frac{0,9 \times 250 \times 433,1835 \times 220}{2} + 589529976 \\
 &= 600251268,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &\geq M_u \\
 600251268,7 \text{ Nmm} &> 544403539 \text{ Nmm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

### Kontrol web crippling (lipatan pada plat badan)

Kondisi dimana tanpa pengaku segitiga dihitung berdasarkan momen nominal

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times Z_x \times f_y \\
 &= 0,9 \times 2550000 \times 250 \\
 &= 573750000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \frac{8 \times \phi M_n}{2 \times L} \\
 &= \frac{8 \times 573750000}{2 \times 20309} \\
 &= 113006,6897 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dicoba tanpa pengaku, N (panjang pengaku)

(*Structural Steel Design*, Jack C. McCormac)

$$\phi P_n =$$

$$\begin{aligned}
 \phi &\times 0,4 \times t_w^2 \times \left[ 1 + \left( \frac{3 \times N}{d} \right) \times \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \\
 &\times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n =$$

$$\begin{aligned}
 0,75 \times 0,4 \times 11^2 \times \left[ 1 + \left( 3 \times \frac{0}{660} \right) \times \left( \frac{11}{18} \right)^{1,5} \right] \\
 \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 18}{11}} \\
 = 36,300 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$\phi P_n = 36,300 \text{ N} < 113006,6897 \text{ N} \quad \textbf{TIDAK AMAN}$$

Maka diberi pengaku pada sambungan

Dicoba pengaku, N = 400 mm



$$\frac{N}{d} = \frac{400}{660} = 0,606061 > 0,2$$

$$\phi P_n =$$

$$\phi \times 0,4 \times t_w^2 \times \left[ 1 + \left( \frac{3 \times N}{d} \right) \times \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \times \sqrt{\frac{E \times f_y \times t_f}{t_w}}$$

$$\phi P_n =$$

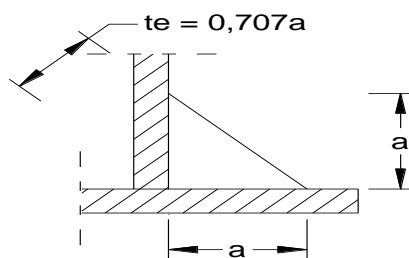
$$0,75 \times 0,4 \times 11^2 \times \left[ 1 + 3 \times \left( \frac{400}{660} \right) \times \left( \frac{11}{18} \right)^{1,5} \right] \times \sqrt{\frac{200000 \times 250 \times 18}{11}}$$

$$= 285236,035 \text{ N}$$

$$\phi P_n \geq P_u$$

$$285236,04 \text{ N} > 113006,6897 \text{ N} \quad \text{OK}$$

## b) Las Sudut



persyaratan ukuran las

(SNI 1729:2015, hal 116)

$$\text{tebal pelat yang disambung} = 18 \text{ mm}$$

ukuran minimum las sudut (a)

$$18 < 19 = 6 \text{ mm}$$

$$\text{ukuran maksimum las sudut} = \text{tebal pelat} - 2 \text{ mm}$$

$$= 18 - 2 = 16 \text{ mm}$$

$$\text{diambil las sudut (a)} = 6 \text{ mm}$$

Throat Efektif untuk las sudut adalah

$$te = 0,707 \times a$$

$$= 0,707 \times 6 = 4,242 \text{ mm}$$

Dipakai elektroda 60 :

$$\text{Tegangan leleh las} \quad F_{exx} = 354 \text{ Mpa}$$

Panjang Minimum Las sudut

$$l_{min} = 4 \times a$$

$$= 4 \times 6 = 24 \text{ mm}$$

Tegangan Nominal dari logam las

$$\begin{aligned} F_{nw} &= 0,6 F_{exx} \left[ 1 + 0,5 \sin^{1,5} \theta \right] \\ &= 0,6 \cdot 354 \left[ 1 + 0,5 \sin^{1,5} 45 \right] \\ &= 275,5467 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kuat rencana Las sudut

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times F_{nw} \times te \\ &= 0,75 \times 275,547 \times 4,242 \\ &= 876,6519 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan  $L_w$

$$L_w = \frac{V_u}{\phi R_{nw}} = \frac{151800}{876,6519} = 173,16 \text{ mm}$$

$$L_w > l_{min}$$

$$173,16 \text{ mm} > 24,00 \text{ mm}$$

Panjang las yang digunakan = 173,16 mm

### c) Pelat Ujung (End Plate)

Menurut AISC hal 10-25 perencanaan tebal pelat ujung sebagai berikut :

$$t_{min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$C_a = 1,36 \quad (\text{AISC Tabel 10-1})$$

$$b_p = b_f + 25,4 \text{ mm} = 300 + 25,4 = 325,4 \text{ mm}$$

$$C_b = \sqrt{\frac{b_f}{b_p}} = \sqrt{\frac{300}{325,4}} = 0,921942$$

$$d_b = \text{Dimensi baut} = 28 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$p_f = \text{jarak pusat baut ke tepi} - t_f$$

$$= 120 - 18 = 102 \text{ mm}$$

$$p_e = p_f - \frac{d_b}{4} - \text{Lebar kaki las}$$

$$= 102 - \frac{28}{4} - 6$$

$$= 89 \text{ mm}$$

Luas sayap pada balok tarik ( $A_f$ )

$$\begin{aligned} A_f &= b_f \times t_f \\ &= 300 \times 18 = 5400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas bersih web ( $A_w$ )

$$\begin{aligned} A_w &= (h - 2 t_f) \times t_w \\ &= \left[ 660 - 2 \times 18 \right] \times 11 = 6864 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_m &= C_a \times C_b \left( \frac{A_f}{A_w} \right)^{1/3} \times \left( \frac{p_e}{d_b} \right)^{1/4} \\ &= 1,36 \times 0,921942 \left( \frac{5400}{6864} \right)^{1/3} \times \left( \frac{89}{28} \right)^{1/4} \\ &= 0,26128 \end{aligned}$$

Gaya terfaktor pada sayap ( $P_{uf}$ )

$$\begin{aligned} P_{uf} &= \frac{M_u}{h - t_f} \\ &= \frac{544403539}{660 - 18} \\ &= 847980,5897 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen Pelat Ujung ( $M_{eu}$ )

$$\begin{aligned} M_{eu} &= \alpha_m \times P_{uf} \times \frac{p_e}{4} \\ &= 0,26128 \times 847980,5897 \times \frac{89}{4} \end{aligned}$$

$$= 4929759,759 \text{ Nmm}$$

Tebal Pelat Ujung Minimum ( $t_{\min}$ )

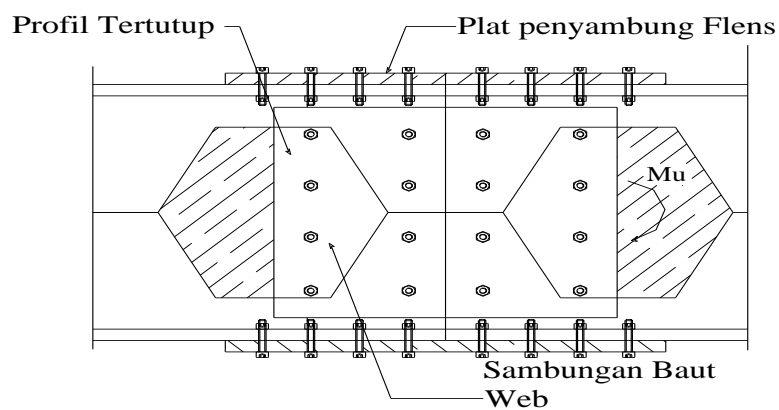
$$t_{\min} = \sqrt{\frac{4 \times M_{eu}}{\phi \times F_y \times b_p}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \times 4929759,759}{0,9 \times 240 \times 325,40}}$$

$$= 16,7497 \text{ mm} \sim 18 \text{ mm}$$

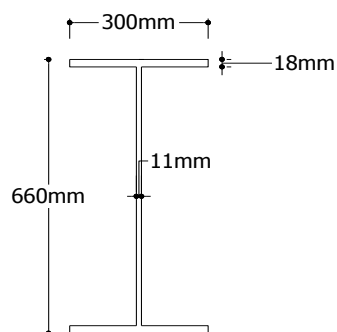
Tebal pelat yang digunakan untuk sambungan C dan D adalah = 18 mm

#### 4.6.3 Sambungan balok - balok ( sambungan E-F )



data profil :

profil balok castella 660.300.11.18



$$d = 660$$

$$b = 300$$

$$t_w = 11$$

$$t_f = 18$$

#### Data Material

Mutu Baja : BJ41 (  $f_y = 250 \text{ Mpa}$  )

: (  $f_u = 410 \text{ Mpa}$  )

Tipe baut : A307 (  $f_u = 310 \text{ Mpa}$  )

Tebal plat = 14 mm

Kapasitas momen dan geser penampang

$$\begin{aligned} M_n \text{ balok} &= \sigma \times S_g \\ &= 140,077 \times 3886461,09 \\ &= 544403810,1 \text{ Nmm} \\ V_n \text{ balok} &= 0,6 \times f_y \times A_w \\ &= 0,6 \times 250 \times \left[ ds \times tw \right] \\ &= 0,6 \times 250 \times \left[ 92 \times 11 \right] \\ &= 151800,00 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Perencanaan spliced beam

pelat Sambungan flens

dimensi lubang baut = 28 mm (SNI 1729:2015, hal 126)

kekuatan nominal pengecang baut A490 (SNI 1729:2015, hal 125)

$$F_{nt} \text{ (Kekuatan tarik nominal)} = 310 \text{ Mpa}$$

$$F_{nv} \text{ (Kekuatan geser nominal)} = 188 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tegangan tarik pelat} = 250 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} 90\% \times \phi \times M_n &= 90\% \times 544403810,1 \\ &= 538959772 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= M / (d + t) = 538959503,2 / (660 + 18) \\ &= 794925,9174 \text{ N} \end{aligned}$$

### Menghitung Tahanan Baut

Luas Baut ( $A_b$ )

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 28^2 \\ &= 615,440 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kekuatan Tarik dan Geser dari baut : (SNI 1729:2015, hal 129)

Kuat nominal terhadap tarik :

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nt} \times A_b \\ &= 794925,92 \times 615,44 \\ &= 489229206,6 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 489229206,6 \\ &= 366921905 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned} R_n &= F_{nv} \times A_b \\ &= 188 \times 615,44 \\ &= 115702,72 \text{ N} \\ \phi R_n &= 0,75 \times 115702,7 \\ &= 86777 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya tarik yang terjadi pada sayap

$$\begin{aligned} T_n &= M_n / d \\ &= 538959772 / 660 \\ &= 816605,7152 \text{ N} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang dipakai

$$\begin{aligned}
 n &= T_n / \phi R_n \\
 &= 816605,7152 / 86777,04 \\
 &= 9,410389144 \text{ buah} = \mathbf{12 \text{ buah}}
 \end{aligned}$$

jadi diperlukan 10 buah baut pada setiap sisi sayap balok

Sambungan baut pada badan balok

luas penampang baut

$$\begin{aligned}
 A_b &= 1/4 \times \pi \times d^2 \\
 &= 1/4 \times \pi \times 20^2 \\
 &= 314,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kuat nominal terhadap geser :

$$\begin{aligned}
 R_n &= \phi F_{nv} \times A_b \\
 &= 188 \times 314,00 \\
 &= 59032 \text{ N} \\
 \phi R_n &= 0,75 \times 59032 \\
 &= 44274 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jumlah baut yang dipakai

$$\begin{aligned}
 n &= V_n / \phi R_n \\
 &= 151800,00 / 44274,00 \\
 &= 3,428648868 \text{ buah} = \mathbf{8 \text{ buah}}
 \end{aligned}$$

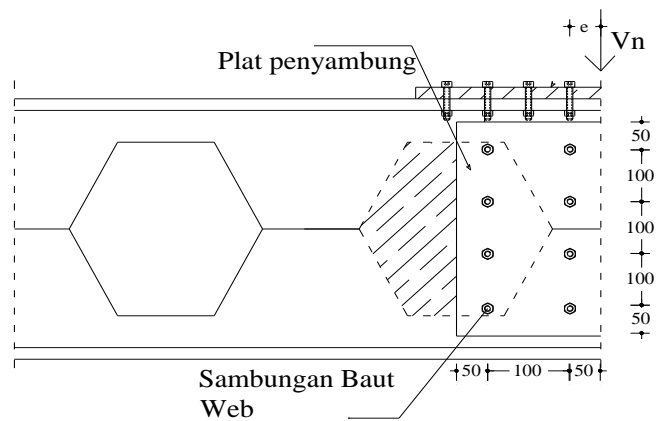


**kontrol blok shear :**

akibat beban sentris

$$\begin{aligned} R_v &= V_n / n \\ &= 151800,00 / 8,00 \\ &= 18975 \quad \text{N} \end{aligned}$$

akibat beban eksentris



$$\begin{aligned} \text{Eksentrisitas (e)} &= 75 + 0,5 \times 150,00 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Gaya yang terjadi akibat eksentrisitas

M = Vn x e  
= 18975 x 150  
= 2846250 Nmm

$$\begin{aligned} X &= 4 \times ((75 \times 75) + (100 \times 100)) \\ &= 4 \times 5625 + 22500 \\ &= 112500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y &= 8 + (75 \times 75) \\
 &= 8 \times 5625 \\
 &= 45000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X + Y &= 112500 + 45000,00 \\
 &= 157500 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

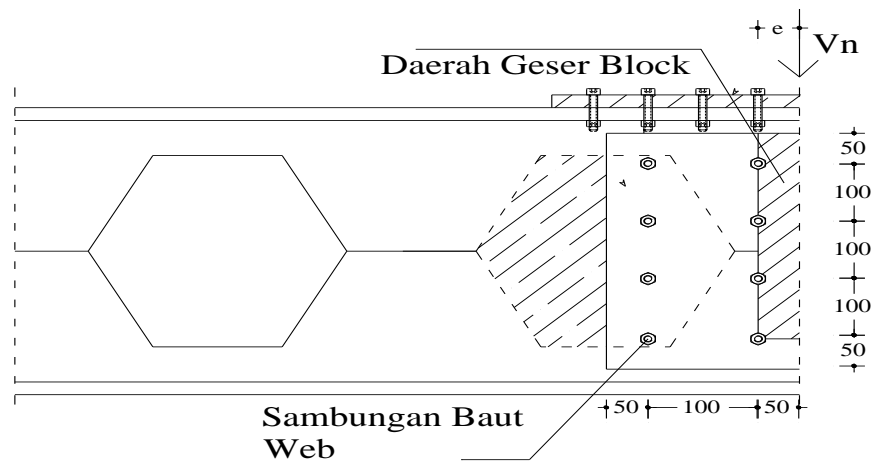
$$\begin{aligned}
 RHx &= M.y / X+Y \\
 &= 284625000 / 157500,00 \\
 &= 1807,142857 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RHy &= M.y / X+Y \\
 &= 142312500 / 157500,00 \\
 &= 903,5714286 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Resultan Gaya yang terjadi 1 baut

$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{R_v^2 + (Rh_x + Rh_y)^2} \\
 &= \sqrt{18975^2 + [1807,14 + 903,57]^2} \\
 &= 19167,64453 < \emptyset R_n = 44274 \text{ AMAN}
 \end{aligned}$$

## Kontrol Geser



Luas bruto penampang akibat geser

$$\begin{aligned}
 A_{gv} &= \text{Panjang penampang geser} \times \text{Tebal plat} \\
 &= (50 + 100 + 100 + 100) \times 14 \\
 &= 4900 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas netto penampang akibat geser

$$\begin{aligned}
 A_{nv} &= (\text{panjang penampang geser} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{Tebal plat} \\
 &= (350 - 3,5 (8 + 1)) \times 14 \\
 &= 4459 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas bruto penampang akibat tarik

$$\begin{aligned}
 A_{gt} &= \text{Panjang penampang geser} \times \text{Tebal plat} \\
 &= 50 \times 14 \\
 &= 700 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas netto penampang akibat tarik

$$A_{nt} = (\text{panjang penampang geser} - \text{jumlah lubang baut}) \times \text{Tebal plat}$$

$$= (50 - 0,5 (8 + 1)) \times 14$$

$$= 637 \text{ mm}$$

Cek terhadap geser balok

$$f_u \times A_{nt} = 440 \times 637$$

$$= 280280 \text{ N}$$

$$0,6 f_u \times A_{nv} = 0,6 \times 440 \times 4459$$

$$= 1177176 \text{ N}$$

karena  $f_u \times A_{nt} = 280280 \text{ N} < 0,6 \times f_u \times A_{nv} = 117176 \text{ N}$ , maka

$$T_n = (0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv}) + (f_y \cdot A_{gv})$$

$$= (0,6 \cdot 440 \cdot 4459) + (280 \cdot 4900)$$

$$= 2549176 \text{ N}$$

$$\phi T_n = 0,75 \times 2549176$$

$$= 1911882 \text{ N} > V_n = 151800,00 \text{ AMAN}$$

Jadi dipakai :

Sambungan pada setiap sisi sayap balok

$$\text{baut} = \emptyset 28 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah} = 12 \text{ buah}$$

$$\text{jarak antar baut} = 75 \text{ mm}$$

Sambungan pada setiap sisi badan balok

$$\text{baut} = \emptyset 28 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah} = 8 \text{ buah}$$

$$\text{jarak antar baut} = 150 \text{ mm}$$

#### 4.6.3 Sambungan Base Plate (Sambungan A dan B)

Dengan menggunakan perogram bantu staad pro 2007 Bentley  
didapatkan nilai momen ( $M_u$ ), gaya aksial ( $P_r$ ), tegangan geser ( $V_u$ )

$$M_u = 311.002 \text{ Nm} \sim 311001720 \text{ Nmm}$$

$$P_u = 79345 \text{ N}$$

$$V_u = 60296 \text{ N}$$

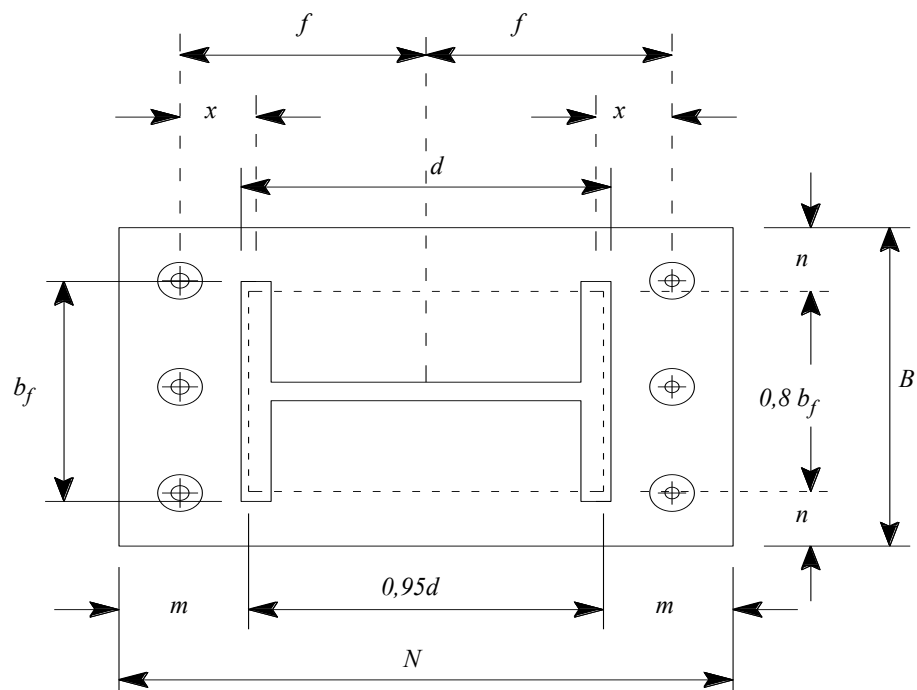
$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

$$f_u = 410 \text{ Mpa}$$

Dicoba menggunakan pondasi beton

$$\text{dimensi} = N \times B = 700 \times 600 \text{ mm}$$

$$\text{Mutu } F'c = 25 \text{ Mpa}$$



**Gambar 4.24** Penamaan Sambungan Base Plate

a) Perencanaan sambungan Base Plate

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{\left[ N - 0,95 d \right]}{2} = \frac{\left[ 700 - 0,95 \cdot 440 \right]}{2} \\
 &= 141 \text{ mm} \\
 n &= \frac{\left[ B - 0,95 bf \right]}{2} = \frac{\left[ 600 - 0,95 \cdot 300 \right]}{2} \\
 &= 157,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \text{diambil dari nilai terbesar } m \text{ dan } n \\
 &= 141 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= f - \frac{440}{2} + \frac{18}{2} = 285 - \frac{440}{2} + \frac{18}{2} \\
 &= 74,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai eksentrisitas dari sumbu kolom

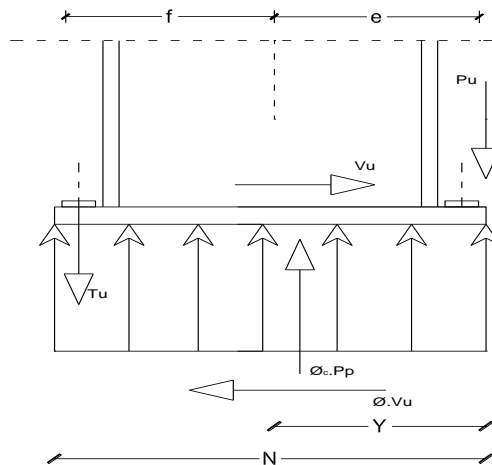
$$\begin{aligned}
 e &= \frac{M_u}{P_u} = \frac{311001720}{79345} = 3919,613 \text{ mm} \\
 e &> \frac{N}{6} = \frac{700}{6} = 117 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$3919,613 \text{ mm} > 117 \text{ mm} \quad \textbf{Termasuk kategori D}$$

$$\frac{P_u}{6} - \frac{N}{6} = \frac{79345}{6} - \frac{700}{6} = 9256916,667 \text{ Nmm}$$

$$0 \leq \frac{P_u - N}{6} \leq M_u$$

$$0 \leq 9256916,667 \text{ Nmm} \leq 311001720 \text{ Nmm} \quad \textbf{OK}$$



**Gambar 4.25** Beban yang bekerja pada *Base Plate*

Menghitung tegangan tumpu pada beton

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot B \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$  diasumsikan adalah  $= 1$

$$q = 0,6 \times 0,85 \times 25 \times 600 \times 1^{0,5}$$

$$= 7650,0 \text{ N/mm}$$

$f$  = jarak antara angkur ke profil baja dibagi 2

$$= 150 \text{ mm}$$

$$f + \frac{N}{2} = 150 + \frac{700}{2} = 500 \text{ mm}$$

$$f + e = 150 + 3919,613 = 4070 \text{ mm}$$

Y=

$$\left( f + \frac{N}{2} \right) \pm \sqrt{\left( f + \frac{N}{2} \right)^2 - \frac{2 P_u \times \left( f + e \right)}{q}}$$

$$\begin{aligned}
Y &= 500 + \sqrt{250000 - \frac{158690 \times 4069,61}{7650,0}} \\
&= 906,916 \text{ mm} \\
Y &= 500 - \sqrt{250000 - \frac{158690 \times 4069,61}{7650,0}} \\
&= 93,084 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dari persyaratan kesetimbangan, maka jumlah gaya dalam arah vertikal harus sama dengan nol, atau dalam bentuk matematis adalah :

$$\sum F_v = 0$$

$$T_u + P_u - \phi_c P_p = 0$$

$$T_u + q Y - \phi_c P_p = 0$$

$$T_u = q \times Y - P_u$$

$$\begin{aligned}
T_u &= q \times Y - P_u \\
&= 7650,0 \times 93,08 - 79345 \\
&= 632746,0857 \text{ N}
\end{aligned}$$

Pemeriksaan angkur terhadap gaya geser dan tarik

Dicoba menggunakan angkur tipe A307

$$n = 10 \text{ buah}$$

$$\text{Diameter } 3/4 \text{ in} = 20 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
A_b &= 1/4 \times 3,14 \times 20^2 \\
&= 314 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Kuat geser nominal angkur tipe A325

$$F_{nv} = 414 \text{ Mpa}$$



$$V_{ub} = \frac{V_u}{n} = \frac{60296}{10} = 6029,6 \text{ N}$$

$$F_v = \frac{V_{ub}}{A_b} = \frac{6029,6}{314} = 19,20255 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} V_{ub} &\leq \phi \times F_v \times A_b \\ 6029,6 \text{ N} &\leq 0,75 \times 414 \times 314 \\ 6029,6 \text{ N} &\leq 97497 \text{ N} \quad \textbf{AMAN} \end{aligned}$$

Kuat tarik Nominal A325

$$\begin{aligned} F_{nt} &= 807 - 1,9 F_v < 621 \\ &= 807 - 1,5 \times 19,20 < 621 \\ &= 778,196 \text{ Mpa} < 621 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$T_{ub} = \frac{T_u}{n_t} = \frac{632746,0857}{5} = 126549,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} T_{ub} &\leq \phi \times F_{nt} \times A_b \\ 126549,2171 \text{ N} &\leq 0,75 \times 621 \times 314 \\ 126549,2171 \text{ N} &\leq 146245,5 \text{ N} \quad \textbf{AMAN} \end{aligned}$$

Perhitungan Tebal Base Plate Kategori D

$$m = 141,00 \text{ mm}$$

$$Y = 93,08 \text{ mm}$$

$$x = 74,00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{perlu 1}} &\geq 2,11 \sqrt{\frac{T_u \cdot X}{B \cdot F_y}} \\ &> 2,11 \sqrt{\frac{632746,0857 \times 74,00}{600 \times 240}} \\ &= 38,04800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk  $Y < m$

$$\begin{aligned}
 t \text{ perlu } 2 &= 2,11 \sqrt{\frac{P_u \left( m - Y/2 \right)}{B \times f_y}} \\
 &= 2,11 \sqrt{\frac{79345 \times \left( 141 - 46,542 \right)}{600 \times 240}} \\
 &= 15,2223 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

diambil tebal pelat terbesar  $t = 36 \text{ mm}$

sehingga ukuran base plate =  $700 \times 500 \times 36 \text{ mm}$

Momen lentur terfaktor pada base plate yang termasuk kategori D, dihitung

berdasarkan gaya tarik,  $T_u$ , yang timbul pada angkur :

$$M_{pl} = \frac{T_u \times x}{B} = \frac{632746,09 \times 74}{600} = 78039 \text{ Nmm}$$

Momen nominal base plate dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 M_n &= M_p = \left( \frac{t^2}{4} \right) \times f_y \\
 &= \left( \frac{1296}{4} \right) \times 250 \\
 &= 81000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Momen

$$\begin{aligned}
 M_{pl} &< M_n \\
 78038,68 \text{ Nmm} &\leq 81000 \text{ Nmm} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Jarak minimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

diameter angkur :  $20 \text{ mm} = 26 \text{ mm}$

tebal pelat  $t = 36 \text{ mm}$

Jarak maksimum, dari pusat lubang ke tepi dari bagian yang disambung

$$\begin{aligned} S1 &= 12 t < 150 \text{ mm} \\ &= 12 \cdot 36 < 150 \text{ mm} \\ &= 432 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{jarak pusat lubang ke tepi diambil} = 75 \text{ mm}$$

Jarak minimum antar baut

$$\begin{aligned} &= 3 d \\ &= 3 \cdot 20 = 60 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak maksimum antar baut

$$\begin{aligned} 14 t &< 180 \text{ mm} \\ 14 \cdot 36 &< 180 \text{ mm} \\ 504 \text{ mm} &< 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

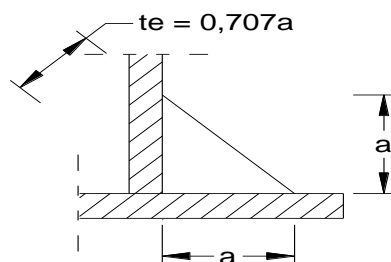
$$\text{Jarak dari baut ke baut} = 125 \text{ mm}$$

Desain Panjang Angkur Minimum Yang diperlukan

$$\begin{aligned} L_{\min} &= \frac{f_y}{4 \sqrt{f_c}} \times \text{diameter baut ankur} \\ &= \frac{240}{4 \sqrt{25}} \times 20 = 240,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maka dipasang panjang ankur} = 300 \text{ mm}$$

b) Las Sudut



persyaratan ukuran las (SNI 1729:2015, hal 116)

tebal pelat yang disambung = 36 mm

ukuran minimum las sudut (a)

$$19 \text{ mm} < 36 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$$

ukuran maksimum las sudut = tebal pelat - 2 mm

$$= 36 - 2 = 34 \text{ mm}$$

diambil las sudut (a) = 10 mm

Throat Efektif untuk las sudut adalah

$$\begin{aligned} te &= 0,707 \times a \\ &= 0,707 \times 10 = 7,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai elektroda 80 :

Tegangan leleh las  $f_{uw} = 495 \text{ Mpa}$

Panjang Minimum Las sudut

$$\begin{aligned} l_{min} &= 4 \times a \\ &= 4 \times 10 = 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kuat rencana las sudut ukuran 10 mm per mm panjang :

$$\begin{aligned} \phi R_{nw} &= \phi \times te \times \left[ 0,6 \times f_{uw} \right] \\ &= 0,75 \times 7,070 \times \left[ 0,6 \times 495 \right] \\ &= 1574,8425 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

dan kapasitas las ini tidak boleh melebihi kuat runtuh geser plat :

$$\begin{aligned} \text{nilai maks. } \phi R_{nw} &= \phi \times t \times \left[ 0,6 \times f_u \right] \\ &= 0,75 \times 36 \times \left[ 0,6 \times 410 \right] \\ &= 6642 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Panjang efektif las yang dibutuhkan  $L_w$

$$\begin{aligned}
 L &= \left[ 2 \times b_f \right] + \left[ 2 \pi r \right] + 2 \times \left[ b_f - t_w - 2 \times r \right] \\
 &\quad + 2 \times \left[ d - 2 t_f - 2 r - t_w \right] + \left[ 2 \times t_f \right] \\
 &= \left[ 2 \times 300 \right] + \left[ 2 \times 3,14 \times 24 \right] + 2 \times \left( 300 - 11 - \right. \\
 &\quad \left. 2 \times 24 \right) + 2 \times \left( 440 - 2 \times 18 - 2 \times 24 - 11 \right) \\
 &\quad + \left[ 2 \times 18 \right] \\
 &= 1959 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol las terhadap tegangan tarik

$$L_w = \frac{T_u}{\phi R_{nw}} = \frac{632746,086}{1574,8425} = 401,78 \text{ mm}$$

$$L_w > l_{min}$$

$$401,78 \text{ mm} > 40,00 \text{ mm}$$

Panjang las yang dibutuhkan = 1959 mm



—  
—

—

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_









St

$$L_y = P \cdot \sin a$$



**Tabel 26.6-1 - Faktor Ar**

Tipe Struktur
Bangunan Gedung Sistem Penahan Beban Angin Utama Komponen dan KladingBangunan Gedung
Atap Lengkung
Cerobong asap, Tangki, dan Struktur yang sama Segi empat Segi enam Bundar
Dinding pejal berdiri bebas dan papan reklame pejal berdiri bebasdan papan reklame terikat papan reklame terbuka dan kerangka kisi
Rangka batang menara Segi tiga, segi empat, persegi panjang Penampang lainnya

**Sistem Penahan Beban Angin Utama dan Komponen dari**  
**Tabel 26.11-1 Koefisien Tekanan Internal, ( $GC_{pi}$ )**  
**Bangunan Tertutup, Tertutup Sebagian, dan Terbuka**

Klasifikasi Ketertutupan	
Bangunan gedung terbuka	
Bangunan gedung tertutup sebagian	
Bangunan gedung tertutup	

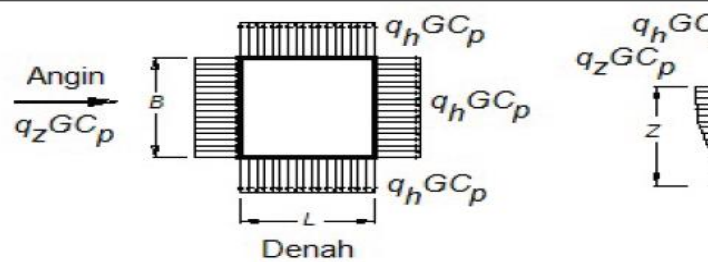
Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	C
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	C
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	C

#### Sistem Penahan Beban Angin Utama – Bagian 1

Gambar 27.4-1

Koefisien tekanan eksternal

Bangunan gedung tertutup, tertutup sebagian



Atap pelana, atap perisai

Tinggi di atas level tanah, z		B
ft	(m)	
0-15	(0-4,6)	0,57
20	(6,1)	0,62
25	(7,6)	0,66
30	(9,1)	0,70
40	(12,2)	0,76
50	(15,2)	0,81
60	(18)	0,85
70	(21,3)	0,89
80	(24,4)	0,93
90	(27,4)	0,96
100	(30,5)	0,99
120	(36,6)	1,04
140	(42,7)	1,09
160	(48,8)	1,13
180	(54,9)	1,17
200	(61,0)	1,20
250	(76,2)	1,28
300	(91,4)	1,35
350	(106,7)	1,41

Eksposur	$\alpha$	$Z_g$ (ft)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$
B	7,0	365,76	1/7	0,84	1/4,0	0,45
C	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65
D	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80

\*  $\bar{b}$  = tinggi minimum zona dapat menahan tinggi struktur  $\bar{b}$  zona

\*  $z_{\min}$  = tinggi minimum yang dapat menjamin tinggi ekuivalen  $z$  yang  
 Untuk bangunan gedung dengan  $h \leq z_{\min}$ ,  $\bar{z}$  harus diambil sebesar

Koefisien tekanan dinding, $C_s$		
Permukaan	$L/B$	
Dinding di sisi angin datang	Seluruh nilai	
Dinding di sisi angin pergi	0 – 1	
	2	
	$\geq 4$	
Dinding tepi	Seluruh nilai	

Koefisien tekanan atap, $C_p$ , untuk diguna							
Arah angin	Di sisi angin datang						
	Sudut, $\theta$ (derajat)						
	$h/L$	10	15	20	25	30	35
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0,25$	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,2 0,3	-0,2 0,3	0,0 0,0
		-0,9 -0,18	-0,7 -0,18	-0,4 0,0*	-0,2 0,3	-0,2 0,2	-0,0 0,0
	$\geq 1,0$	-1,3** -0,18	-1,0 -0,18	-0,7 -0,18	-0,5 0,0*	-0,3 0,2	-0,0 0,0
Tegak lurus terhadap bubungan untuk $\theta < 10^\circ$	$\leq 0,5$	Jarak horizontal dari tepi sisi angin datang			$C_p$		* N
		0 sampai dengan $h/2$			-0,9, -0,18		** I yar
		$h/2$ sampai dengan $h$			-0,9, -0,18		
		$h$ sampai dengan $2h$			-0,5, -0,18		
		$> 2h$			-0,3, -0,18		

sejajar bubungan untuk semua $\theta$	$\geq 1,0$	$< 2h$	-0,3, -0,18	
		0 sampai dengan $h/2$	-1,3**, -0,18	
		$> h/2$	-0,7, -0,18	







## **8      Beban air hujan**

### **8.1   Simbol dan notasi**

$R$  = beban air hujan pada atap yang  
atap yang tidak melendut' diguna  
perlu diperhitungkan ketika mene

$d_s$  = kedalaman air pada atap yang  
drainase sekunder apabila siste  
(mm).

$d_h$  = tambahan kedalaman air pada a  
drainase sekunder pada aliran air





[ ]

#REF!



11,859125



-1,691125







-0,5088285



;

###















$Ax$

Iy

Ix











efek sampai ke bawah







#VALUE!



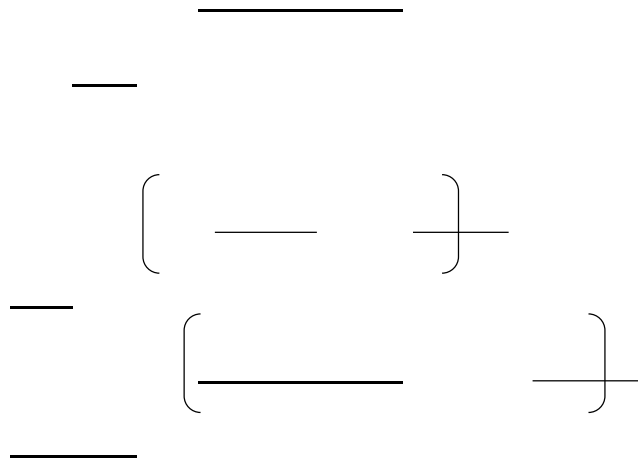








---



0,0000021

rasio

*0,574*



3886461,09

$$\text{sg} \quad \quad \quad \emptyset \text{ Mn baut} \quad \geq \quad \text{Mn balok}$$









GAMBAR DI RUBAH











sesu:  $\sigma$       tegangan ijin castella      Mpa(N/mm2)  
 modulus penampang elastis castella      mm3  
 sg







---





|

$$= \sqrt{\frac{E \cdot x \cdot fy}{tw \cdot x \cdot 0,68}}$$

$$= \sqrt{\frac{E_x f_y}{t_w} \times 0,68}$$









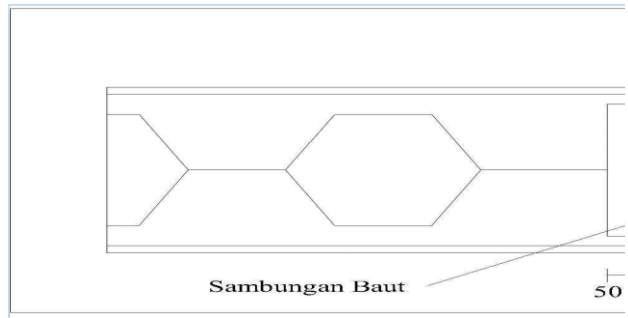
1209786,245

5444038,101





---

















\_\_\_\_\_











## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa perhitungan struktur perencanaan struktur Baja Castella menggunakan metode LRFD pada struktur *Gable Frame* di pembangunan pasar modern Pelaihari Banjarmasin, yaitu :

1. Profil gording Channel 125.65.6.8 dengan pemasangan trekstang ( $\varnothing 10$  x 2) sejarak 6 m.
2. Profil balok Castella 660.300.11.18, diambil dari profil H 440.300.11.18 dan dipotong dengan sudut  $45^\circ$
3. Profil Kolom dengan profil H 440.300.11.18 dengan tinggi kolom 8,53 m
4. Kebutuhan Baut untuk sambungan balok dan kolom sebanyak (2 x 5)x2 dengan  $\varnothing 28$  mm. Sambungan baut pada puncak (rafter) sebanyak 2 x 5  $\varnothing 28$  mm. Dan kebutuhan baut sambungan angkur kolom dan base plate sebanyak (2 x 5) dengan  $\varnothing 20$  mm. Tebal las sudut 10 mm sepanjang 1959 mm.
5. Dari hasil perhitungan, didapat kebutuhan base plate dengan panjang 700 mm, lebar 600 mm dan tebal 36 mm.

Dari data – data hasil perhitungan diatas, maka dapat diterapkan secara langsung di lapangan dalam perencanaan struktur baja yang meliputi gording, balok *castella* , dan sambungan.